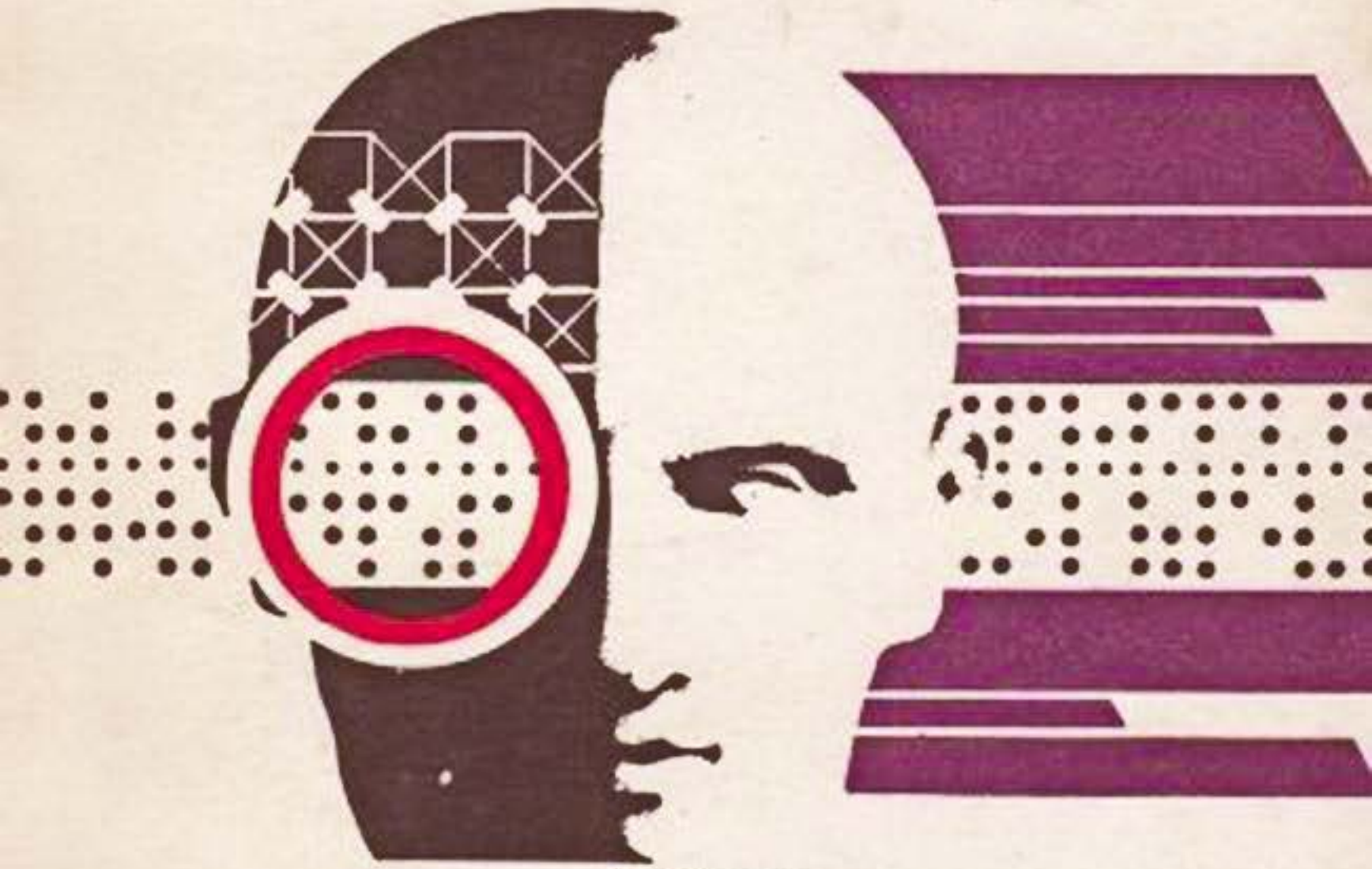
Adrian Restian

HOMO cibernеticus



Editura științifică și enciclopedică

homo cibernеticus

După ce în cartea sa de patologie informațională, pentru care i s-a acordat premiul „Gh. Marinescu" al Academiei R.S.R. autorul a abordat aspectele cibernetice ale patologiei, în această carte el abordează aspectele cibernetice ale existenței, ale dezvoltării și ale perfecționării ființei umane.

Dacă *kybernetiky* înseamnă a dirija, a conduce sau a guverna, atunci *homo cibernеticus* înseamnă omul conducător, înseamnă ființa capabilă de a conduce desfășurarea fenomenelor și chiar propriile sale destine. Desigur că pentru a putea ajunge la aceste performanțe, omul a avut nevoie de anumite mecanisme de reglare cu care să se poată opune tendinței de creștere a entropiei. Unele dintre ele, așa cum este cazul mecanismelor de *feed-back*, reușesc să se opună creșterii entropiei prin corectarea erorilor. Dar omul nu a putut deveni în stare de performanțe deosebite decît în momentul în care, pe lîngă mecanismele de corectare a erorilor, a dobîndit și un mecanism de prevenire a erorilor, așa cum este mecanismul de *feed-before*. Cu ajutorul unor mecanisme cibernetice extrem de perfecționate, omul reușește să realizeze o prelucrare superioară a informațiilor. Și tocmai prin prelucrarea superioară a informațiilor a reușit omul să depășească frontiera biologiei animale și va reuși mereu să depășească propriile sale limite. Cartea descrie modul în care funcționează mecanismele cibernetice care îi oferă omului posibilitatea de a se conduce pe sine, precum și lumea în care trăiește.

CUPRINS

Dincolo de aparențe 7
Omniprezența sistemelor 11
Sistemele cibernetice 16
Reglarea ca mijloc antientropic 28
Necesitatea informației pentru desfășurarea proceselor de reglare .. 33
Universalitatea informației 44
Cimpul informațional 48
Informația genetică 53
Reglarea intracelulară 64
Reglarea intercelulară 77
Reglarea endocrină 93
Reglarea neuropsihică 101
Reglarea imunitară 138
Cultura ca al doilea canal de transmitere a informațiilor 145
Explozia informațională 151
Redundanța necesară 154
Activitatea umană ca o succesiune de procese informațional-decizionale 160
Inteligența artificială 166
Imperfecțiunile cibernetice ale organismului uman 183
Igiena informațională 189
Mecanismele cibernetice de perfecționare a ființei umane 198
Bibliografie 202
Summary 212

CAPITOLUL I

DINCOLO DE APARENȚE

Lumea aceasta minunată, relieful, plantele și animalele, este de o diversitate și de o frumusețe de-a dreptul impresionante. O imensitate de forme se împletește cu o imensitate de culori dînd naștere la o mulțime de frumuseți: munții înalți care străjuiesc cîmpiile roditoare, oceanele nemărginite care, parcă pentru a-și ascunde fantastica lor populație, înghit cu o sete nepotolită apele dulci ale rîurilor, dar mai ales o mulțime de specii de plante și de animale, care de care mai diferite, mai frumoase și mai interesante. Fiecare munte, fiecare cîmpie, fiecare plantă, fiecare animal și fiecare om se deosebesc de toate celelalte, avînd caracteristicile lor particulare. Dar deși se deosebesc între ele avînd fiecare o formă, o culoare și o frumusețe proprie, irepetabilă și inimitabilă, între unii munți, între unele cîmpii, între unele plante, între unele animale și între toți oamenii există — pe lîngă numeroasele deosebiri — și foarte multe caractere comune. Așa spre exemplu, diferiți munți pot fi formați din aceeași rocă, diferite cîmpii pot avea același sol, diferite plante pot avea fructe asemănătoare, iar diferite animale pot naște pui vii pe care să-i hrănească cu lapte. Adică pe lîngă numeroasele deosebiri care fac lumea această atît de derutantă, există totuși anumite caractere comune care, odată sesizate, îl apropie pe om de esența fenomenelor, facilitînd adaptarea lui la mediu și chiar modificarea mediului în care trăiește. Căci spre deosebire de toate celelalte animale care se adaptează autoplastic, adică schimbîndu-și propria lor structură la condițiile de mediu, omul se adaptează mai ales aloplastic, adică schimbînd mediul la necesitățile sale. Desigur că pentru a putea realiza adaptarea aloplastică, omul trebuie să cunoască mai întîi mediul pe care vrea să și-l adapteze. De aceea el caută să descopere esența, regulile,

legile și principiile care guvernează interdependența, de multe ori ascunsă, dintre fenomene.

Prin sesizarea caracterelor comune, lumea încetează de a mai fi chiar atît de derutantă, deoarece omul o ordonează și încadrează diversitatea ei între anumite limite, care prin definiție nu pot fi încălcate. Așa spre exemplu, orice animal care naște pui vii și îi hrănește cu lapte este un mamifer, indiferent de forma și de mărimea lui, de la șoarece și pînă la balenă. Fără o astfel de ordonare a fenomenelor și a obiectelor, după niște criterii comune, nu ar fi posibilă nici comunicarea dintre oameni, căci comunicarea apelează, de cele mai multe ori, la caracterele comune ale diferitelor fenomene. Așa spre exemplu, deși între diferitele flori există foarte multe deosebiri, cuvîntul floare definește acele caractere comune ale tuturor florilor care servesc la reproducere și care sînt, de cele mai multe ori, frumos colorate.

Observînd că unele organisme, deși foarte diferite ca aspect, își pot obține energia necesară direct din razele solare, fiind astfel autotrofe, iar alte organisme, diferite și ele ca înfățișare, își obțin energia necesară de la cele dintîi, fiind astfel heterotrofe, omul a deosebit, a definit și a reunit viețuitoarele care urmau să facă obiectul de studiu al botanicii de cele care urmau să facă obiectul de studiu al zoologiei. Deși trebuie să remarcăm că unele viețuitoare, cum ar fi bacteriile, nu au putut fi grupate în nici unul dintre cele două regnuri (66).

Tot așa au fost clasificate obiectele de studiu ale tuturor celorlalte științe. Ele au clasificat obiectele lor de studiu grupîndu-le în funcție de proprietățile lor comune. Astfel, chimia a clasificat și ea diferitele substanțe în funcție de proprietățile lor comune. Așa spre exemplu, substanțe foarte diferite care au însă proprietatea de a se dizolva în benzen au fost clasificate în grupa grăsimilor, iar substanțe, de asemenea foarte diferite, care au însă comună legătură peptidică au fost clasificate în grupa proteinelor.

După o lungă perioadă descriptivă, în care științele au descris în amănunțime obiectele lor de studiu, definindu-le și clasificîndu-le după proprietățile lor comune, atunci cînd s-a trecut la cercetarea cauzalității, a interdependențelor dintre ele, adică a esenței fenomenelor, lucrurile s-au complicat foarte mult. Ceea ce părea a fi obiectul de studiu al unei științe a devenit, datorită legăturilor dintre diferitele obiecte, și obiectul de studiu al altor științe. Așa spre

exemplu, substanțele care au comună proprietatea de a putea fi folosite în tratamentul unor boli nu mai constituie numai obiectul de studiu al chimiei, ci și obiectul de studiu al farmacologiei.

Aceleași dificultăți au fost întîmpinate și în ceea ce privește metodele de studiu, care păreau la un moment dat suficiente, dar odată cu diversificarea și evoluția științelor, cu abordarea domeniilor de graniță, au devenit nesatisfăcătoare. Astfel, metodele de studiu ale chimiei nu au mai fost suficiente pentru studiul farmacologiei. De aceea metodele de studiu ale chimiei au trebuit completate cu metodele de studiu ale farmacologiei, cum ar fi experimentarea pe animal. Chimia a clasificat substanțele după unele calități, cum ar fi punctul de topire sau solubilitatea lor. Farmacologia le clasifică după alte proprietăți, cum ar fi proprietatea de a distruge microbi sau de a dilata vasele de sînge. De aceea substanțe foarte diferite din punct de vedere chimic care au însă comună proprietatea de a distruge microbii au fost reunite în grupa antibioticelor. Dar nu numai în cazul antibioticelor, ci și al antihipertensivelor, al tonicardiacelor, al vasodilatatoarelor, sau al antispasticelor, putem constata că substanțe foarte diferite din punct de vedere chimic au proprietăți farmacologice comune.

Azi oamenii știu că de multe ori aparențele înșală, că, de exemplu, Soarele nu se învîrtește în jurul Pămîntului, așa cum ni se pare în fiecare zi. De aceea pentru a cunoaște adevărul nu este suficient să constatăm aparența fenomenelor, ci trebuie să efectuăm numeroase observații și experiențe, cu ajutorul cărora să putem da la o parte vălul care îl ascunde. Pentru a ajunge la adevăr trebuie să prelucrăm o mare cantitate de date disparate, de multe ori neconcludente prin ele însele, tot așa cum pentru a ajunge la aur trebuie să prelucrăm, de cele mai multe ori, o mare cantitate de minereu.

Dînd însă la o parte cortina de diversitate, putem constata că obiecte sau fenomene studiate după aparența lor de diferite științe trebuie, de fapt, să reprezinte obiectul de studiu al altor științe interdisciplinare. Așa spre exemplu, reglarea, care este studiată atît de științele tehnice cît și de cele biologice, poate fi studiată mult mai bine de către cibernetică. Reușind să depășească aspectele particulare, cibernetica reușește să intre mai bine în esența ascunsă

a fenomenelor, descoperind legile și principiile care guvernează comanda și controlul atît în sistemele tehnice, cît și în sistemele vii. Mergînd însă pe firul foarte întortocheat al fenomenelor au început să apară o serie întreagă de științe interdisciplinare, cum ar fi biofizica, biochimia, psihofiziologia, astrofizica și multe altele. Completînd metodele de studiu ale științelor clasice cu metode noi, științele interdisciplinare reușesc să se descurce mai bine în complexitatea lumii înconjurătoare și să descopere mai bine existența unor legături și chiar a unor similitudini, acolo unde științele clasice nu au fost în stare să le sesizeze.

Înarmat cu metode de cercetare din ce în ce mai eficace, omul de știință contemporan reușește să străbată dincolo de aparența obiectelor și fenomenelor sesizînd proprietăți și conexiuni de multe ori inaparente. Așa spre exemplu, M. Gell-Mann și G. Zweig, studiind particulele atomice, au reușit să descopere, în 1964, cu ajutorul unui aparat matematic adecvat, că toate particulele elementare sînt de fapt compuse din niște particule și mai elementare denumite quarkuri. Tot așa Octav Onicescu (102) căutînd să descopere ceea ce este invariabil în mișcare a descris o mecanică invariantivă, de o mare profunzime și de o mare generalitate, tocmai pentru că nu variază în funcție de ipostazele, mereu particulare, sub care se poate găsi și se găsește, de fapt, natura. Iar L. Bertalanffy (18) a descris teoria generală a sistemelor, după care obiecte sau fenomene foarte diferite, cum ar fi o mașină, un brad sau un om, ca și orice alt ansamblu de elemente aflate într-o interacțiune neîntîmplătoare reprezintă, de fapt, niște sisteme.

CAPITOLUL II

OMNIPREZENȚA SISTEMELOR

Despre soare și plante s-a spus mai de mult că formează un sistem. Tot așa și creierul împreună cu nervii care merg și care pleacă de la el a fost denumit sistem nervos. După L. Bertalanffy însă, nu numai sistemul solar sau sistemul nervos, ci tot ce ne înconjură, toată această diversitate minunată, reprezintă, de fapt, o mulțime de sisteme, pentru că orice ansamblu de elemente aflate într-o interacțiune neîntîmplătoare reprezintă un sistem (18). Și este evident că atît piesele unei mașini cît și organele unui om se află într-o interacțiune neîntîmplătoare și de aceea atît omul cît și mașina reprezintă, de fapt, niște sisteme. Sistemele sînt deci foarte răspîndite. Tot ce ne înconjură reprezintă niște sisteme. Ele sînt, după cum remarcă J. W. Forrester, omniprezente (36).

Reprezentînd un ansamblu de elemente aflate în interacțiune, sistemul scoate în evidență importanța legăturilor, de multe ori ascunse, dintre obiectele și fenomenele care reprezintă elementele sale. Prin intermediul acestor legături, sistemul se delimitează de mediul înconjurător, sau mai bine zis de celelalte sisteme. Dar datorită interacțiunii universale, care face ca universul să fie un mare sistem, pentru a menține și a delimita un sistem va trebui ca legăturile sale interne să fie mai puternice decît legăturile pe care le stabilește cu celelalte sisteme (fig. 1). Interacțiunea universală îngreuiază delimitarea sistemelor și face ca fiecare sistem să fie, de fapt, un subsistem mai mare. Sistemul solar este subsistemul unei galaxii. Iar fiecare element al sistemului, adică fiecare planetă, este și ea la rîndul ei un sistem. Organismul uman, care este un sistem format dintr-o mulțime de subsisteme, este și el, la rîndul său, un subsistem al unei colectivități și al unui sistem social.

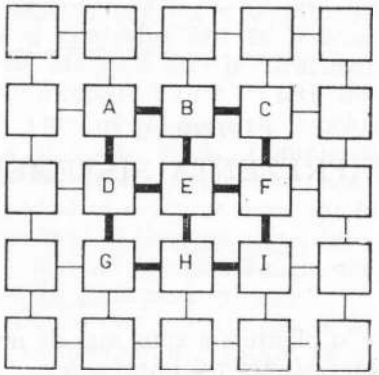


Fig. 1. Un sistem este format dintr-o mulțime de elemente *ABCD* între care există legături mai puternice decît cele care există între aceste elemente și elementele altor sisteme.

Subsistemele din care este format organismul uman sînt și ele, la rîndul lor, formate dintr-o mulțime de subsisteme. Organele sînt formate dintr-o mulțime de țesuturi. Țesuturile sînt formate dintr-o mulțime de celule. Celulele sînt formate dintr-o mulțime de organite. Organitele celulare sînt formate dintr-o mulțime de macromolecule. Macromoleculele sînt formate dintr-o mulțime de molecule. Moleculele sînt formate dintr-o mulțime de atomi. Atomii sînt formați dintr-o mulțime de particule elementare și așa mai departe (23).

Legăturile care se stabilesc între elementele, sau mai bine zis subsistemele, sistemului îi conferă acestuia calități noi pe care nu le găsim la nici unul dintre subsistemele sale. Așa spre exemplu, nici una dintre piesele unei mașini nu are capacitatea de a se deplasa singură, așa cum face mașina. De aceea sistemul nu este niciodată numai o sumă, sau o colecție de obiecte, ci este întotdeauna mai mult decît suma elementelor sale. Calitățile noi pe care le dobîndește sistemul sînt rezultatul legăturilor sale interne. Cu ajutorul lor se face saltul calitativ de la un nivel inferior la un nivel superior de organizare. Și calitățile sistemelor biologice rezultă tot din legăturile interne care se stabilesc între elementele din care sînt constituite, adică din modul lor de organizare. Căci dacă folosind aceleași cărămizi, adică aceleași elemente primare, se pot construi case foarte diferite, tot așa folosind aceleași elemente primare, cum ar fi carbonul, hidrogenul, oxigenul, azotul, fosforul, calciul,

sulful, se pot construi organisme foarte diferite. Diferența dintre ele rezidă mai ales în modul în care sînt organizate aceste elemente. Prin organizarea în diferite feluri a elementelor primare lumea se diversifică, devine mai frumoasă și mai variată.

Deoarece calitățile sistemului rezultă tocmai din modul în care sînt organizate elementele sale, din legăturile care se stabilesc între ele, studiul sistemelor nu se poate face în mod adecvat cu ajutorul metodelor tradiționale de descompunere și de recombinare a elementelor. De aceea studiul sistemelor și mai ales al sistemelor complexe, așa cum sînt sistemele vii, sau psihicul uman, se face cu ajutorul analizei sistemice (23,43, 36, 99, 108). Analiza sistemică abordează sistemul în totalitatea lui, studiind atît legăturile sale interne, cît și legăturile sale externe.

Un sistem poate fi definit de mulțimea $x \in X$ a intrărilor, de mulțimea $y \in Y$ a ieșirilor și de mulțimea $s \in S$ a stărilor între care se stabilește relația:

$$y = f(s, x).$$

Aceasta înseamnă că ieșirile sistemului sînt în funcție de intrările și de stările sale (108). De funcția care se stabilește între aceste mulțimi depinde comportamentul sistemului. Comportamentul său urmărește să asigure însă identitatea sistemului în pofida numeroaselor influențe perturbatoare pe care mediul le exercită în permanență asupra sa. Sistemul se opune, astfel, cu ajutorul legăturilor sale interne, care devin de fapt niște legături de solidaritate, acțiunii celui de-al doilea principiu al termodinamicii, care tinde să crească entropia, adică dezordinea, Această opoziție nu reprezintă o negare a celui de-al doilea principiu, ci utilizarea unor posibilități pe care acesta nu le exclude cu desăvîrșire. Așa spre exemplu, el nu exclude cu desăvîrșire scăderea entropiei într-un anumit punct, dacă aceasta va duce la creșterea entropiei într-un punct învecinat cu care primul formează, de fapt, un sistem (116).

Termodinamica, care se ocupă cu studiul conservării și transformării energiei, postulează, în cadrul primului principiu, că energia nu poate fi creată și nu poate fi distrusă, ci doar transformată dintr-o formă în alta. Iar în cadrul celui de-al doilea principiu, ea postulează că în timp ce energia electrică, chimică sau mecanică pot fi transformate integral în energie calorică, aceasta din urmă nu mai poate fi retransformată integral, la rîndul ei, în energia din care a provenit (38, 109, 192). Ea ar fi deci un fel de energie

inferioară care nu mai poate fi retransformată integral în formele de energie superioară din care a provenit. De aceea ordinea nu poate decît să scadă și să se piardă, în timp ce dezordinea, adică entropia, nu poate decît să crească. Conform acestui principiu, căldura trece de la corpul mai cald la corpul mai rece pînă cînd temperaturile lor se uniformizează. Iar vîntul, apele și alți factori erodează munții pentru a-i aduce la nivelul podișului și al cîmpiei, toate sistemele reducîndu-și cu timpul, datorită influențelor externe și uneori chiar a celor care se manifestă între anumite elemente, gradul lor de ordine și de organizare.

Gradul de ordine și de organizare, adică entropia sistemului, depinde de probabilitatea ca elementele sale să se afle în anumite stări posibile. Entropia S depinde, după cum a arătat L. Boltzmann, de probabilitatea ca elementele sale să se afle în anumite stări posibile, conform formulei:

$$S = k \log PE,$$

unde k este o constantă, iar PE reprezintă probabilitățile diferitelor elemente. Cu cît probabilitatea elementelor de a se afla în mai multe stări posibile este mai mare, cu atît entropia, adică dezordinea sistemului, va fi mai mare. Iar cu cît probabilitatea elementelor sale de a se afla în diferite stări posibile este mai mică, cu atît negentropia, adică ordinea sistemului, va fi mai mare. Organismele vii sînt caracterizate de o ordine și de o organizare foarte înaltă, deoarece, deși sînt formate dintr-o mulțime de elemente, acestea au o distribuție bine stabilită. Ele realizează această performanță în pofida celui de-al doilea principiu al termodinamicii care reprezintă, după cum remarcă L. Brillouin (25), un adevărat decret de condamnare la moarte. Pentru a putea amîna cel puțin aplicarea acestui decret, sistemele biologice trebuie să fie, după cum arată I. Prigogine (116), niște sisteme disipative, adică să facă un schimb de substanțe și de energie cu mediul pentru a crește entropia mediului înconjurător pe măsură ce își reduc entropia lor internă. Dar dacă mediul extern acționează asupra sistemelor și chiar sistemele acționează de multe ori între ele conform celui de-al doilea principiu al termodinamicii, fiecare dintre ele manifestă în același timp și o anumită rezistență față de aceste influențe perturbatoare. Adică lumea găsește în ea înseși posibilitatea de a nu se lăsa uniformizată. Ea își găsește posibilitatea de a se diversifica, de a evolua, în pofida

celui de-al doilea principiu al termodinamicii care tinde spre uniformizare și spre creșterea entropiei. Desigur însă că nu toate sistemele reușesc să se opună la fel de bine creșterii entropiei, adică nu toate reușesc să utilizeze la fel de bine acele posibilități de ordine pe care nu le exclude cu desăvîrșire cel de-al doilea principiu.

Un sistem este alcătuit, după cum arată P. Apostol (4), din patru mulțimi: o mulțime a elementelor sale, o mulțime a relațiilor dintre ele, o mulțime a stărilor pe care elementele respective le pot avea și o mulțime a operațiilor care pot duce la aceste stări. Pentru a putea apărea și pentru a-și putea păstra cît mai bine identitatea lor și a sistemului din care fac parte, între elementele acestor mulțimi trebuie să se stabilească anumite relații. Iar relațiile care reușesc să utilizeze cel mai bine acele posibilități pe care cel de-al doilea principiu al termodinamicii nu le exclude cu desăvîrșire vor fi, desigur, cele mai adecvate. Sistemele între ale căror elemente se stabilesc astfel de relații devin, de fapt, astfel niște sisteme antientropice, așa cum sînt sistemele biologice și sistemele tehnice capabile să se autoregleze.

CAPITOLUL III

SISTEMELE CIBERNETICE

Dincolo de aparențele, uneori derutante, orice mașină, orice plantă și orice animal, indiferent de forma, de mărimea și de culoarea sa, este un sistem. Cu ajutorul legăturilor interne dintre elementele care le compun, sistemele reușesc să-și conserve și uneori chiar să-și dezvolte propria lor identitate în pofida numeroaselor influențe perturbatoare. Iar sistemele ale căror legături interne le oferă posibilitatea de a-și păstra și a-și dezvolta cel mai bine propria lor identitate sînt sistemele cibernetice.

Pe lîngă proprietățile generale ale tuturor sistemelor de a reprezenta niște elemente aflate în interacțiune, pe lîngă proprietatea de a fi deschise, adică de a avea un schimb de substanțe și de energie cu mediul în care se află, sistemele cibernetice au și capacitatea de autoreglare. Prin intermediul autoreglării ele reușesc să cîștige un mult mai mare grad de independență față de mediu, eliberîndu-se astfel de sub influența, sau mai bine zis de sub dominația, celui de-al doilea principiu al termodinamicii, ale cărui imperfecțiuni le folosesc cu o foarte mare subtilitate. Prin intermediul autoreglării, sistemele cibernetice devin, după cum remarcă N. Wiener (197), niște insule de organizare și de progres în universul entropic.

Capacitatea de autoreglare a unui sistem este și ea, ca și toate celelalte calități, rezultatul modului în care sînt organizate elementele sale. Ele pot fi organizate în două blocuri; unul de comandă și unul de execuție. Blocul de comandă sesizează, prin intermediul unor elemente specializate, informațiile generate de variațiile elementelor care trebuie reglate, informații care privesc de fapt modul de funcționare a blocului de execuție. În felul acesta, sistemul de comandă urmărește nu numai trasarea comenzilor corespunzătoare programului său de funcționare, ci și modul în care sistemul de execuție îndeplinește comenzile primite. Acest lucru este foarte important în condițiile în care numeroși factori perturbanți se opun îndeplinirii lor.

Supravegherea modului în care organele de execuție îndeplinesc comenzile primite se realizează prin intermediul unui mecanism care a fost denumit mecanism în circuit închis de către D. Danielopolu (31), aferentație inversă de către P. Anohin (3), proces circular de către S. Odobleja (100), și *feed-back* de către N. Wiener (197). Acest mecanism este caracterizat de faptul că elementul reglat influențează la rîndul său elementul care îl reglează. Această influență se poate face direct, așa cum se întîmplă în cazul mecanismului de *feed-back* dintre molecula de enzimă și substratul asupra căruia trebuie să acționeze, sau prin intermediul unor elemente specializate în recepționarea și transmiterea informațiilor. Aceste elemente urmăresc variațiile elementului reglat și trimit retroactiv informațiile corespunzătoare centrului de comandă care va elabora deciziile necesare corectării variațiilor respective (fig. 2).

Mecanismul de *feed-back* funcționează astfel conform rezultatelor propriei sale activități. Mărimea de ieșire y a mecanismului de *feed-back* depinde nu numai de acțiunea de transformare pe care o exercită sistemul de reglare S asupra mărimii de intrare x, ci și de informațiile retroactive R pe care sistemul de reglare le primește privind starea mărimii de ieșire y. Adică $y = S(x + Ry)$, de unde se obține

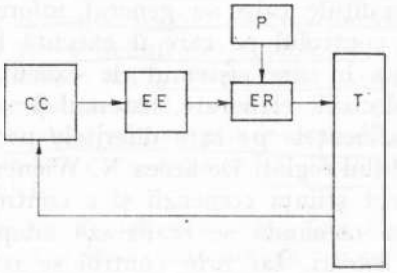


Fig. 2. Schema unui mecanism de *feed-back* format dintr-un centru de comandă *CC*, care acționează asupra unor organe de execuție *EE*, care acționează la rîndul lor asupra elementului reglat *ER*. Pentru a-l putea menține între anumite limite, în condițiile în care asupra lui acționează anumite perturbații *P*, starea elementului reglat este urmărită în permanență de către un traductor *T*, capabil să sesizeze variațiile sale și să trimită centrului de comandă informațiile necesare corectării lor.

relația $y = Sx + SRy$. Scoțîndu-l pe y, ajungem la relația:

$$y = \frac{S}{1 - SR} x$$

care reprezintă, după cum arată O. Lange (61), formula fundamentală a reglării.

Corectînd erorile care apar, adică făcînd ca ordinele îndeplinite de sistemul de execuție să fie identice sau cît mai apropiate posibil de cele primite de la sistemul de comandă, mecanismul de *feed-back* reușește să păstreze în limite cît mai constante elementul reglat. De aceea mecanismul de *feed-back* are o importanță deosebită în sistemele cibernetice.

După cum se poate constata, cibernetica nu se ocupă însă de natura concretă, adică de substanța particulară din care este alcătuit sistemul și nici de energia pe care el o utilizează. Trecînd dincolo de aparențele substanțial-energetice, ea studiază mai ales modul în care sistemele sînt organizate și modul în care funcționează ele pentru a-și putea păstra cît mai bine identitatea. Pentru a deveni cibernetic, sistemul trebuie să-și organizeze elementele sale într-un subsistem de comandă și într-un subsistem de execuție. Iar sistemul de execuție să se afle nu numai sub comanda, ci și sub controlul sistemului de comandă, care devine astfel de comandă și control. Prin decizia pe care o ia în urma prelucrării informațiilor primite din afară, sistemul de comandă caută să adapteze funcționarea sistemului de execuție la condițiile care au generat informațiile respective. Iar prin controlul pe care îl execută în permanență asupra modului în care sistemul de execuție reușește să îndeplinească deciziile elaborate, sistemul de comandă caută să corecteze influențele pe care diferitele perturbații le au asupra elementului reglat. De aceea N. Wiener a și denumit cibernetica drept știința comenzii și a controlului la ființe și mașini. Prin comandă se realizează adaptarea ieșirilor în funcție de intrări. Iar prin control se realizează adaptarea comenzilor în funcție de ieșiri. Aceste procese de comandă și control se pot desfășura în sisteme foarte diferite, atît la ființe cît și la mașini.

Cibernetica a descoperit astfel niște similitudini acolo unde aparențele sînt foarte diferite. Oricît de șocant a părut

și ar mai putea părea pentru unii, atît ființele în stare să-și păstreze propria lor identitate, cît și mașinile în stare să se autoregleze, în pofida marilor deosebiri dintre ele, funcționează totuși după același principiu general cum este cel al comenzii și controlului prin intermediul mecanismului de *feed-back*. Astfel organismul reușește, de exemplu, să-și păstreze aproape constantă temperatura, chiar dacă temperatura mediului ambiant suferă variații foarte importante. Dar tot prin intermediul mecanismului de *feed-back* reușește și termostatul construit de om să păstreze constantă temperatura unei instalații. Cînd scade temperatura din instalație, un traductor reprezentat de un termometru cuplat la un reostat stabilește anumite contacte pentru a crește cantitatea de curent electric care alimentează elementele de încălzire ale termostatului și temperatura revine la normal. Cînd temperatura din instalație crește, atunci traductorul — care sesizează acest lucru — reduce cantitatea de curent electric și temperatura revine iarăși la normal.

Sisteme foarte diferite, așa cum sînt sistemele biologice, sistemele tehnice și sistemele economice, funcționează de fapt după aceleași principii generale (127). Cibernetica studiază tocmai aceste principii. De aceea ea este, după cum remarcă W. R. Ashby (6), în aceeași relație față de sistemele pe care le studiază ca și geometria față de corpurile reale. Amîndouă fac abstracție de substanța din care sînt constituite obiectele pe care le studiază. De aceea cibernetica are un cîmp foarte mare de aplicabilitate. Ea poate studia cu mult mai multă eficacitate decît fizica, matematica, chimia și biologia, modul de funcționare a sistemelor hipercomplexe, fie ele tehnice (41), biologice (19), economice (61) sau de conducere (187). Toate aceste sisteme, indiferent de structura lor particulară, reușesc să-și păstreze propria lor identitate, susținîndu-se prin intermediul mecanismului de *feed-back*, de sub dominația celui de-al doilea principiu al termodinamicii.

Desigur însă că în cele din urmă nici substanța și nici energia pe care o folosesc nu pot să nu influențeze deloc modul în care diferitele sisteme cibernetice reușesc să aplice principiul de reglare prin *feed-back*. De aceea au și apărut diferitele ramuri ale ciberneticii. Cibernetica tehnică studiază modul în care reușesc să aplice sistemele tehnice principiul de reglare prin *feed-back*. Iar cibernetica biologică studiază modul în care reușesc sistemele biologice să aplice

acest principiu. Indiferent de modul particular în care reușesc să aplice acest principiu, atît sistemele tehnice cît și cele biologice ajung la posibilitatea de a-și menține o entropie constantă în universul entropiei crescînde.

Dar sistemele biologice nu rămîn constante așa cum s-au născut. Ele au cel puțin o anumită perioadă de evoluție în care își cresc ordinea și organizarea. Dar dacă prin corectarea erorilor mecanismul de *feed-back* nu reușește decît să păstreze ordinea sistemului, înseamnă că pentru creșterea și dezvoltarea ordinii este necesar un alt mecanism. Acest mecanism mai este necesar și pentru faptul că funcționînd prin corectarea erorilor, mecanismul de *feed-back* nu poate asigura identitatea sistemului într-un mediu în care se produc și evenimente ale căror consecințe nu ar mai putea fi corectate. Or, omul ca și toate celelalte animale trăiesc într-un mediu în care se produc și evenimente ale căror consecințe nu ar mai putea fi corectate. Căderea de la o mare înălțime, ciocnirea cu un automobil sau ingestia unui toxic sînt niște evenimente ale căror consecințe, de cele mai multe ori, nu mai pot fi corectate.

De aceea, păstrarea și mai ales dezvoltarea identității sistemului într-un mediu în care se petrec evenimente ale căror consecințe nu ar mai putea fi corectate nu se pot face decît printr-un mecanism de prevenire a erorilor. Deoarece mecanismului de retroreacție, care funcționează prin corectarea erorilor, i s-a spus mecanism de *feed-back*, noi am denumit mecanismul de prevenire a erorilor mecanism de *feed-before*, adică de reglare înainte (138, 155).

Spre deosebire de mecanismul de *feed-back*, care pentru a corecta erorile produse, trebuie alimentat cu informații retroactiv, mecanismul de *feed-before* trebuie alimentat cu informații înainte de producerea erorilor respective. Iar rolul mecanismului de *feed-before* este acela de a preveni, cu ajutorul acestor informații, cel puțin acele erori care nu ar mai putea fi corectate. Tocmai pentru a-și putea îndeplini acest rol el trebuie alimentat cu informații înainte.

Dar dacă mecanismul de *feed-back* presupune existența unui centru de comandă, a unor organe de execuție și a unor traductori care să urmărească variațiile elementului reglat, mecanismul de *feed-before* presupune existența unor traductori care să informeze centrul de comandă despre evenimentele care ar putea produce anumite erori. Iar centrul de comandă va trebui să prelucreze în așa fel informația primită,

încît să poată ajunge la decizia cea mai adecvată și să poată îndrepta decizia adoptată spre oricare dintre organele de execuție de care dispune, alegînd de fiecare dată acțiunea și organul a căror activitate ar putea preveni cel mai bine tulburările pe care modificările ce au generat informația respectivă le-ar putea produce.

Există deci o mulțime de evenimente care generează o mulțime de informații $x_1x_2 \dots x_n$ și o mulțime de organe de execuție capabile să îndeplinească o mulțime de acțiuni sau reacțiuni posibile $y_1y_2 \dots y_n$. Mecanismul de *feed-before* trebuie să stabilească de fiecare dată corespondența cea mai adecvată între elementele mulțimii $X = (x_1x_2 \dots x_n)$ și elementele mulțimii $Y = (y_1y_2 \dots y_m)$. Mecanismul de *feed-before* se interpune astfel între mediu și sistem, care pot fi considerați ca doi parteneri (fig. 3). Pentru că cel puțin unul dintre parteneri, adică sistemul, are posibilitatea de a-și alege acțiunile, mecanismul de *feed-before* funcționează după principiul jocului (29, 103).

Jocul presupune existența a cel puțin doi parteneri. Mediul și organismul pot fi considerați ca doi parteneri între care se desfășoară o competiție pentru ordine și dezordine. Mediul tinde, conform celui de-al doilea principiu al termodinamicii, să reducă ordinea și să crească dezordinea, iar sistemul biologic tinde, prin intermediul mecanismului de *feed-before*, să-și păstreze și chiar să-și crească ordinea. Negentropia pe care o pierde organismul este preluată ca

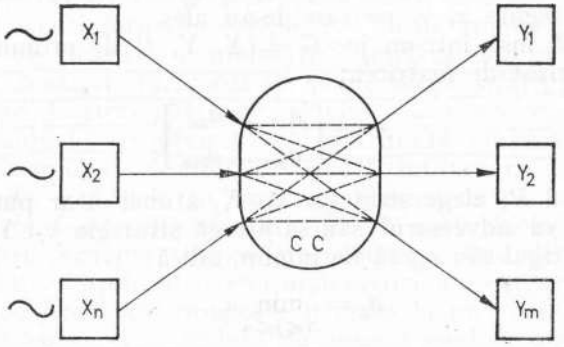


Fig. 3. Pentru a putea alege deciziile corespunzătcare prevenirii erorilor, mecanismul de *feed-before* trebuie să aibă posibilitatea de a îndrepta informațiile $x_1x_2 \dots x_n$, sau mai bine zis deciziile care rezultă în urma prelucrării lor, spre oricare dintre organele de execuție $y_1y_2 \dots y_n$, capabile de a preveni erorile respective.

entropie de către mediu, iar entropia pe care o pierde mediul este preluată ca negentropie de către organism. Jocul dintre organism și mediu este deci un joc cu sumă nulă, în care tot ce pierde un partener este preluat de către celălalt partener.

Deoarece în mediu există mai multe sisteme și deoarece, de cele mai multe ori, oamenii se asociază în lupta lor împotriva celui de-al doilea principiu al termodinamicii, jocul dintre organism și mediu poate fi considerat și ca un joc între mai mulți parteneri (46).

Jocurile pot fi studiate de către teoria matematică a jocurilor care are o tradiție destul de îndelungată, de prin 1650, cînd jocurile au fost abordate de către Blaise Pascal. Teoria matematică a fost însă formulată abia prin 1944 de către J. Neumann și O. Morgenstern (94). Apoi teoria jocurilor s-a dezvoltat și s-a diversificat foarte mult (103). Azi se cunosc mai multe feluri de joc. În funcție de mulțimea acțiunilor și reacțiunilor pe care le pot adopta cei doi parteneri, se cunosc jocuri finite și jocuri infinite. În funcție de numărul de parteneri, jocurile pot fi cu doi, cu trei și cu mai mulți parteneri.

Jocul finit dintre doi parteneri este un joc normal sau matriceal. Un joc în formă normală este caracterizat de tripletul (X, Y, f), unde X și Y sînt mulțimile acțiunilor sau reacțiunilor posibile ale celor doi parteneri, iar f este funcția de utilitate.

Dacă, spre exemplu, jucătorul P_1 alege acțiunea sau strategia X_i, iar jucătorul P_2 alege strategia Y_j, atunci el va plăti jucătorului P_1 un cîștig $a_{ij} = f(x_i, y_j)$, în funcție de strategiile x_i y_j pe care le-au ales.

Dacă însă într-un joc $G = (X, Y, f)$ de ordinul $m \times n$ caracterizat de matricea:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} \dots a_{1n} \\ a_{m1} \dots a_{mn} \end{bmatrix}$$

jucătorul P_1 alege strategia $x_i \in X$, atunci el ar putea să se aștepte ca adversarul său să aleagă strategia $y_j \in Y$ pentru care cîștigul său a_{ij} să fie minim, adică:

$$a_i = \min_{1 \leqslant j \leqslant n} a_{ij}.$$

Jucătorul P_1 poate fi însă convins că are asigurat acest cîștig minim a_i. Putînd alege însă orice strategie, jucătorul P_1 va căuta să aleagă acea strategie x_i în care acest cîștig minim să fie cît mai mare posibil. El va căuta să aleagă

acea strategie în care valoarea inferioară a jocului G, adică V_G, să fie egală cu cel mai mare cîștig minim pe care jucătorul P_1 și-l poate asigura fără nici un risc. Iar valoarea inferioară a jocului G este:

$$V_G = \max_{1 \leqslant i \leqslant m} \alpha_i = \max_{1 \leqslant i \leqslant m} \min_{1 \leqslant j \leqslant n} a_{ij}.$$

Această strategie a jucătorului P_1 este o strategie maximin (29).

Jucătorul P_2 este și el interesat să-și reducă pierderea la minimum. De aceea el va alege acea strategie minimax în care valoarea superioară a jocului G, adică $\bar{V}_G$, să fie:

$$\bar{V}_G = \min_{1 \leqslant j \leqslant n} \alpha_j = \min_{1 \leqslant j \leqslant n} \max_{1 \leqslant i \leqslant n} a_{ij}.$$

Utilizînd o strategie minimax, jucătorul P_2 își asigură un cîștig de cel puțin:

$$\min_{1 \leqslant j \leqslant n} \max_{1 \leqslant i \leqslant m} a_{ij}.$$

sau o pierdere de cel mult:

$$\max_{1 \leqslant j \leqslant n} \min_{1 \leqslant i \leqslant m} a_{ij}.$$

Dacă $V_G = \bar{V}_G$ atunci jocul este cu punct șa. Punctul șa corespunde perechii de strategii $x_i y_j$ care sînt optime pentru ambii parteneri.

Din punctul de vedere al cantității de informație, jocurile pot fi cu informație completă și cu informație parțială. Desigur că jocurile cu informație completă sînt mai avantajoase, deoarece jucătorul își poate alege strategiile sale în funcție de strategiile adversarului. De aceea organismul uman caută să recepționeze cît mai multă informație.

Mecanismul de *feed-before* poate fi întîlnit, ca și mecanismul de *feed-back*, în sisteme cibernetice cu structuri particulare foarte diferite, atît în sistemele biologice, cît și în unele sisteme tehnice și economice. Dar deși poate fi modelat cu ajutorul teoriei matematice a jocurilor, mecanismul de *feed-before* nu poate fi redus la un aparat matematic, deoarece el reprezintă un anumit mod de organizare a elementelor capabil să aplice în realitate acest Principiu.

Mecanismul de *feed-before* dispune de un subsistem de explorare, de sondare, de urmărire, de supraveghere a partenerului și de un subsistem de primire și de prelucrare

a informațiilor primite pentru a ajunge la decizia cea mai adecvată prevenirii perturbațiilor. Mecanismul de *feed-before* ar trebui să aibă cît mai multe intrări pentru a putea primi cît mai multe informații despre partener și să aibă cît mai multe ieșiri, pentru a putea acționa și reacționa cît mai specific și cît mai adecvat diferitelor situații. Pentru a putea realiza acest lucru centrul său de comandă trebuie să fie atît de complex, încît să poată trimite aproape orice informație spre aproape orice cale de ieșire posibilă, indiferent de calea pe care a intrat.

Pentru a putea îndrepta însă informațiile, sau mai bine zis deciziile care rezultă în urma prelucrării informațiilor respective, spre ieșirea, adică spre organul cel mai adecvat, centrul de comandă trebuie să efectueze de fiecare dată o alegere. Tocmai pentru a putea face această alegere mecanismul de *feed-before* are nevoie de cît mai multe informații. Cu ajutorul lor, el trebuie să aprecieze probabilitatea de producere a diferitelor erori. Dacă pe baza informațiilor primite centrul de comandă apreciază că este foarte probabil să se producă evenimentul X_i, ceea ce în teoria jocurilor înseamnă că este foarte probabil ca mediul să adopte strategia x_i, atunci mecanismul de *feed-before* va căuta să aleagă strategia y_j, capabilă să prevină tulburările pe care strategia X_i le-ar putea produce. Pe lîngă informațiile privind strategia partenerului, mecanismul de *feed-before* trebuie să mai dispună și de informațiile privind utilitatea pe care diferitele strategii $y_1y_2 \dots y_n$ le-ar putea avea în cazul strategiilor $x_1x_2 \dots x_n$ ale mediului. Iar prin înscrierea utilității acțiunilor $y_1y_2 \dots y_n$ în fiecare din evenimentele $x_1x_2 \dots x_n$ se poate obține matricea jocului pe care organismul îl susține cu mediul (fig. 4). În cazul jocului cu sumă nulă, adică în cazul jocului în care tot ce pierde un partener este preluat de către celălalt partener, strategiile au aceeași utilitate, dar cu semn schimbat: $U_x = -U_y$.

Cu ajutorul informațiilor generate de evenimentele ale căror consecințe trebuie prevenite, precum și al utilităților pe care le au diferitele strategii posibile în diferitele situații, mecanismul de *feed-before* ar putea funcționa perfect dacă evenimentele prevăzute s-ar produce în realitate și dacă starea sistemului nu s-ar modifica mereu. Pentru a putea preveni variațiile de temperatură ale unui sistem care trebuie să-și modifice el însuși temperatura, după un anumit program, mecanismul de *feed-before* va trebui să primească,

		mediu				
	Y/X	X_1	X_2	X_3	X_4	V_G
organism	Y_1	9	3	5	1	1
	Y_2	1	2	2	3	1
	Y_3	5	4	6	7	4
	Y_4	2	1	2	5	1
	$\bar{V}_G$	9	4	6	7	

Fig. 4. Jocul dintre organism și mediu ar putea fi reprezentat schematic sub forma unei matrice. Pe rînduri pot fi înscrise acțiunile $y_1y_2 \dots y_n$ ale organismului, pe coloane acțiunile mediului $x_1x_2 \dots x_n$, iar la întretăierea rîndurilor cu coloanele respective, valorile lor de utilitate. Dacă în exemplul nostru, organismul alege strategia y_1 pentru a obține un cîștig maxim de 9, riscul este foarte mare, deoarece dacă mediul răspunde cu strategia x_4, atunci îi reduce cîștigul la 1. Dacă din prudență organismul alege strategia y_3, atunci oricare ar fi răspunsul mediului, el are asigurat un cîștig minim de 4. Strategiile x_2y_3 reprezintă punctul șa al jocului, în care cîștigul minim este egal cu cîștigul maxim.

pe lîngă informațiile generate de modificările din mediul extern, și informațiile generate de modificările din mediul interior. Informațiile generate de modificările din mediul intern vin, ca și în cazul mecanismului de *feed-back*, retroactiv pentru a influența în modul corespunzător alegerea strategiilor de către centrul de comandă al mecanismului de *feed-before* (fig. 5).

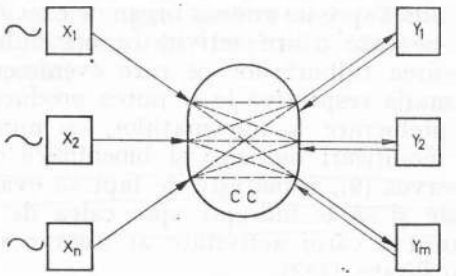


Fig. 5. Pentru a putea stabili deciziile cele mai adecvate prevenirii tulburărilor pe care diferiți factori perturbanți le-ar putea produce, centrul de comandă al mecanismului de *feed-before CC* primește informații nu numai de la evenimentele din mediu $x_1x_2 \dots x_n$, ci și de la traductorii $y_1y_2 \dots y_m$ ai mecanismelor de *feed-back*, care îl informează despre situația dinăuntrul organismului.

Superioritatea mecanismului de *feed-before* este determinată de cantitatea de informație pe care el o recepționează și posibilitatea de a îndrepta decizia care rezultă spre organul care ar putea îndeplini acțiunea cea mai adecvată. De aceea omul caută să culeagă cît mai multe informații. Este adevărat că traductorii, adică organele de simț ale omului, nu sînt atît de perfecționați ca traductorii unor animale, care duc totuși un joc mult mai puțin eficace decît duce organismul uman. Vulturul, spre exemplu, vede mult mai bine, iar cîinele are un miros mult mai fin decît omul. Dar omul a compensat și a hipercompensat această inferioritate, prin inventarea unor aparate, cum ar fi microscopul, telescopul, telefonul, radioul, radarul și multe altele, cu care își poate culege mult mai multe informații decît ar putea culege vreun alt sistem biologic cu traductorii săi.

Dar dacă în privința traductorilor omul este întrecut uneori de către unele animale, în ce privește centrul de comandă și control către care converg informațiile culese, superioritatea omului este incontestabilă. Creierul omului, către care converg informațiile culese, este centrul de comandă și control cel mai perfecționat. Cele 14 miliarde de neuroni formează cu prelungirile lor o rețea de o complexitate fantastică, capabilă de a prelucra extrem de nuanțat informația pe care o primește (95). Această rețea îi oferă creierului posibilitatea de a îndrepta informațiile primite spre aproape orice cale de ieșire, indiferent de calea pe care au intrat. Îndreptarea informațiilor, sau mai bine zis a deciziilor, spre o anumită cale de ieșire, adică spre un anumit organ de execuție, depinde de utilitatea pe care o are activitatea organului respectiv pentru prevenirea tulburărilor pe care evenimentele ce au generat informația respectivă le-ar putea produce. De aceea procesul de prelucrare a informațiilor, cu numeroasele și complicatele modificări biofizice și biochimice care au loc în sistemul nervos (9), urmărește de fapt să evalueze informațiile primite și să le îndrepte spre calea de ieșire, care duce la organul a cărui activitate ar avea cea mai mare valoare de utilitate (132).

Cibernetica arată că, dincolo de aparențele uneori derutante, sistemele tehnice, biologice și economice, în aparență foarte diferite, funcționează de fapt după aceleași principii generale de corectare și chiar de prevenire a erorilor. Principiul de corectare a erorilor este mai simplu și mult mai răspîndit atît în sistemele tehnice, cît și în sistemele biologice. Dar chiar dacă este mai complicat, mecanismul de prevenire a erorilor este foarte eficace și foarte necesar. Tocmai de aceea el s-a impus și s-a perfecționat crescînd capacitatea antientropică și antialeatoare a sistemelor biologice.

Cu mecanismul său de *feed-before* cel mai perfecționat, omul a reușit să domine și într-o oarecare măsură chiar să schimbe mediul înconjurător. În loc să se lupte din greu cu dezordinea, așa cum fac celelalte animale, luptă care presupune o mare cheltuială de energie și un mare risc, omul a căutat să prevină dezordinea, ceea ce presupune o mult mai mică cheltuială de energie și un risc mult mai mic. El a dobîndit astfel, pe lîngă calitățile antientropice, și calități antialeatoare, cu ajutorul cărora caută să prevină întîmplarea care ar putea să producă dezordine (68). Astfel, cu un risc minim și cu o cheltuială minimă de energie, el își asigură un cîștig maxim de negentropie și în același timp cea mai mare independență posibilă față de mediul în care trăiește. Utilizînd în interesul său faptul că mediul nu își alege strategiile sale în funcție de strategiile partenerului, organismul uman caută să transforme în realitate acea mică posibilitate de a exista, de a-și reduce entropia, pe care cel de-al doilea principiu al termodinamicii nu o exclude cu desăvîrșire. Mediul tinde să crească dezordinea și să scadă ordinea, ceea ce ar duce la distrugerea sistemului, dar el nu exclude acea organizare a elementelor sistemului capabilă să se opună încercărilor sale întîmplătoare. El nu exclude mecanismul de *feed-back* și nici mecanismul de *feed-before* cu ajutorul cărora organismul reușește să introducă o anumită ordine nu numai în structurile sale biologice, ci și în mediul entropic.

CAPITOLUL IV

REGLAREA CA MIJLOC ANTIENTROPIC

Mecanismele de *feed-back* și de *feed-before* sînt niște mecanisme de reglare, deoarece acționînd asupra unor elemente, dinăuntrul sau din afara sistemului, caută să le aducă și să le mențină într-o anumită stare care nu se obține în mod spontan. În mod spontan fenomenele tind spre o dezordine maximă. Iar sistemele cibernetice tind, după cum am văzut, către o ordine maximă. Pentru a putea obține această ordine, ele trebuie să consume o anumită cantitate de energie. O parte din această energie se va pierde sub formă de căldură în mediul extern, ducînd astfel — alături de celelalte acțiuni ale organismului — la creșterea entropiei mediului.

Pentru a-și putea menține ordinea, sistemul trebuie să fie disipativ (116). Dar caracterul disipativ nu este suficient, deoarece nu este suficient să primească energie și să ducă la creșterea entropiei mediului înconjurător. Pentru a-și putea menține ordinea, sistemul trebuie să folosească într-un anumit fel energia primită. De aceea pentru a-și putea menține ordinea sistemul trebuie să desfășoare anumite procese de reglare. Cu ajutorul proceselor de reglare, chiar și un sistem format din elemente instabile poate deveni, după cum remarcă W. R. Ashby (6), un sistem ultrastabil. Datorită conexiunilor sale interne și proceselor de reglare pe care le desfășoară, organismul uman a devenit mai stabil decît celulele din care este format. De ceea chiar dacă unele celule mor, iar altele suferă tulburări importante, stabilitatea organismului nu suferă, pînă la un moment dat, modificări importante, deoarece erorile produse sînt corectate sau compensate de anumite mecanisme de reglare.

Orice mecanism de reglare dispune de un sistem de elaborare a comenzilor pe care un sistem de execuție le

transformă în acțiuni efective asupra elementului reglat. Pentru ca reglarea să fie posibilă este necesar ca elementul supus reglării să poată suporta modificarea stării sale în sensul dorit. Pentru a putea regla temperatura unui termostat, spre exemplu, este necesar ca elementele din care este construit să poată realiza și să poată suporta temperatura pe care dorim să o menținem. De multe ori tocmai pentru că elementele sistemului nu pot să suporte variații prea mari de temperatură, ea trebuie menținută în limite cît mai constante, așa cum se întîmplă în cazul animalelor homeoterme.

Apoi, pentru a fi nevoie de o reglare este necesar ca elementul reglat să-și modifice starea și altfel decît în sensul dorit, adică să fie necesară aducerea și menținerea lui într-o altă stare decît cea pe care tinde să o ia în mod spontan. Reglarea este deci un fenomen activ care urmărește să imprime fenomenelor un alt sens decît cel către care tinde să se îndrepte în mod spontan. Pentru a imprima fenomenelor un alt sens de desfășurare decît cel către care tind să se îndrepte în mod spontan, reglarea trebuie să înfrunte acțiunea celui de-al doilea principiu al termodinamicii, care urmărește creșterea entropiei, în timp ce reglarea urmărește scăderea ei. De aceea reglarea este un mijloc de luptă împotriva entropiei.

Fie că funcționează după principiul corectării, fie că funcționează după principiul prevenirii erorilor, mecanismele de reglare reprezintă modul concret prin care sistemele reușesc să aplice aceste principii. Desigur că pentru a putea aplica aceste principii în realitate, ele trebuie să dispună de o anumită organizare. Apoi trebuie să consume o anumită cantitate de energie.

Mecanismele de reglare nu vor putea totuși să mențină o ordine perfectă, deoarece pentru a se opune diferiților factori perturbanți, produc ele însele o anumită cantitate de dezordine. În cadrul proceselor de reglare este necesar, spre exemplu, un permanent schimb de informații. Pentru primirea și transmiterea acestor informații sînt necesare însă anumite modificări care reprezintă de fapt o dezordine locală, adică o creștere a entropiei locale (76). Ordinea pe care o obține în cele din urmă sistemul este mai mare decît dezordinea locală și temporară cu care trebuie să o plătească. Dar deși organismul obține în cele din urmă o ordine mai mare decît dezordinea cu care trebuie să o plătească, nici

un mecanism de reglare nu poate asigura totuși o ordine perfectă, pentru că reglarea însăși presupune o anumită dezordine. Mecanismul de reglare este însă cu atît mai perfecționat cu cît ordinea pe care o obține este mai mare decît dezordinea cu care o plătește. Diferența de ordine se obține prin folosirea într-un anumit fel a energiei de care dispune sistemul. Nu există mecanism de reglare care să nu consume o anumită cantitate de energie. Pentru a putea obține însă o anumită ordine, mecanismele de reglare trebuie să controleze această energie, deoarece o energie necontrolată duce de obicei la creșterea dezordinii, așa cum se întîmplă, spre exemplu, în cazul unei explozii care distruge ordinea existentă. Dacă mecanismele de reglare nu ar controla energia de care dispun, atunci în loc să ducă la creșterea ordinii ar duce la scăderea ei. Dacă mecanismele de reglare ale organismului nu ar controla energia de care dispun, atunci punerea bruscă în libertate a celor 686 000 de calorii pe care le poate elibera o moleculă gram de glucoză (adică 180 de grame de glucoză) ar crește temperatura unui om de 70 kg cu 10 grade Celsius, ceea ce ar putea duce la coagularea proteinelor sale (179).

Pentru a menține ordinea necesară, mecanismele de reglare trebuie să folosească în mod eșalonat și controlat energia de care dispun, pentru a asigura legătura dintre elementele sistemului și apoi pentru a preveni sau corecta tulburările pe care diferiți factori perturbanți le-ar putea produce. Desigur că atunci cînd elementele sistemului manifestă în mod spontan tendința de a se uni între ele și de a-și păstra o anumită ordine, așa cum se întîmplă în cazul cristalelor spre exemplu, care apar în mod spontan și chiar obligatoriu în anumite condiții de mediu, mecanismele de reglare nici nu sînt necesare.

Spre deosebire însă de cristalele care iau naștere în mod spontan și obligatoriu în anumite condiții, ființele vii nu iau naștere în mod spontan și obligatoriu. Azi nu se mai întrunesc condițiile pentru apariția spontană a vieții. În aceleași condiții de mediu în care au apărut, puteau foarte bine să nu apară. De aceea pentru întrunirea condițiilor necesare, pe lîngă substanța, energia și informația corespunzătoare, mai sînt necesare și anumite mecanisme de reglare. Ar fi suficient să amintim că viața se desfășoară în mediu lichid nu numai cînd este vorba de viețuitoarele marine, ci și atunci cînd este vorba de viețuitoarele din pustiul

Saharei. Iar pentru menținerea acestui mediu, pe lîngă o anumită cantitate de apă, de energie și de informație, mai sînt necesare și anumite mecanisme de reglare care să folosească într-un anumit fel substanțele, energia și informația respectivă. Apoi mecanismele de reglare trebuie să asigure o anumită compoziție, o anumită presiune și o anumită temperatură acestui mediu acvatic, care a fost și continuă încă să fie leagănul vieții. Deși mediul extern nu exclude toate aceste condiții, ele nici nu le facilitează. Dimpotrivă, el tinde să uniformizeze compoziția lichidelor, să egalizeze presiunile și temperaturile. Mecanismele de reglare trebuie să se opună acestei uniformizări. Iar atunci cînd uniformizarea se produce totuși, ele trebuie să o corecteze pentru a asigura condițiile necesare vieții.

Natura a găsit foarte multe căi pentru a asigura prin intermediul unor mecanisme de reglare particulare acele condiții generale pe care le solicită viața. Ea a utilizat în cele mai diferite feluri acea șansă pe care mediul nu o exclude cu desăvîrșire. Fiecare ființă și-a creat mijloacele ei particulare, care se deosebesc mai mult în formă decît în conținut. Așa spre exemplu, deși animalele acvatice respiră prin branhii, iar cele terestre respiră prin plămîni, toate reușesc să asigure celulelor oxigenul necesar. Pentru a-și asigura condiții cît mai bune de existență, unele viețuitoare și-au creat, și-au delimitat, un mediu intern, care se interpune între structurile vii și mediul extern, ferind astfel structurile proprii de influențele prea brutale ale mediului extern. Compoziția mediului intern este apoi menținută, prin intermediul unor mecanisme de reglare, în limitele necesare, pentru ca viața să se poată desfășura normal.

La ființele superioare posibilitatea de a-și păstra propria lor identitate merge atît de departe, încît ele nu suportă nici un element străin. Cu ajutorul unui complicat mecanism de reglare imunitară, ele reușesc să respingă orice structură străină care ar încerca să pătrundă în intimitatea organismului.

Reglarea nu se rezumă însă numai la aducerea și menținerea elementelor sistemului într-o anumită stare, ci se extinde și asupra mediului înconjurător. După cum arată V. A. Trapeznicov (188), indiferent de activitatea pe care o desfășoară, organismul uman reglează mereu cîte ceva, fie că este vorba de o activitate fiziologică, care urmărește reglarea structurilor interne, fie că este vorba de o acti-

vitate fizică sau intelectuală, care urmărește reglarea obiectelor și fenomenelor din jur. Un organism care doarme își reglează funcțiile sale vegetative, cum ar fi respirația și circulația sîngelui. Un săpător își reglează mișcarea mîinilor și a corpului pentru a putea efectua săpăturile necesare. Un conducător de întreprindere reglează și coordonează activitatea subalternilor săi. În toate cazurile elementele reglate trebuie aduse într-o anumită stare, care, deși nu este exclusă, nu se obține în mod spontan și obligatoriu.

Reglarea poate fi programată, urmărind realizarea întocmai a unui anumit algoritm, sau poate fi euristică, lăsînd centrul de comandă să găsească singur regulile prin care se poate obține efectul dorit.

Reglarea euristică este mult mai maleabilă, desfășurîndu-se prin tatonare, prin explorare și prin evaluare. De aceea poate fi aplicată și în condiții neprevăzute. La ea recurg sistemele biologice foarte complexe care trebuie să trăiască într-un mediu foarte complex, în care nu pot fi prevăzute toate situațiile pentru a se elabora regulile exacte de rezolvare a lor. Mecanismul de *feed-back* realizează o reglare după reguli precise, pe cînd mecanismul de *feed-before* realizează o reglare după reguli mai puțin precise și uneori chiar după reguli pe care și le găsește singur. De aceea prin intermediul mecanismului de *feed-before* se realizează de fapt acea reglare cognitivă și comportamentală de care vorbește J. Piaget (110). El deosebește o reglare fiziologică, una morfologică, una cognitivă și una comportamentală. Reglarea fiziologică este o reglare antientropică, de luptă cu factorii perturbanți. Secreția de anticorpi este rezultatul reglării fiziologice. Desigur că și adaptarea comportamentală presupune anumite reacții fiziologice, dar nu atît pentru a se lupta cu factorii perturbanți, cît pentru a-i evita. De aceea reglarea comportamentală și reglarea cognitivă au mai ales un caracter antialeator, de a preveni întîmplarea care ar putea produce anumite erori. De aceea reglarea comportamentală și reglarea cognitivă asigură performanțe pe care reglarea fiziologică nu le-ar putea realiza. De fapt, tocmai prin intermediul reglării comportamentale și cognitive a reușit omul să devină homo ciberneticus, adică omul conducător, deoarece conducătorul caută să evite erorile și nu să se lupte cu repararea erorilor, care de multe ori nu mai pot fi corectate.

CAPITOLUL V

NECESITATEA INFORMAȚIEI PENTRU DESFĂȘURAREA PROCESELOR DE REGLARE

Sistemele cibernetice sînt niște sisteme deschise care realizează un schimb permanent de substanțe și de energie cu mediul în care se află. Spre deosebire însă de alte sisteme, cum ar fi motoarele cu explozie spre exemplu, al căror schimb se rezumă la substanță și la energie, sistemele cibernetice întreține și un permanent schimb de informație cu mediul extern. Fără informație nu se poate realiza nici un fel de reglare și deci nu se poate obține acea ordine care face din sistemele cibernetice niște insule de ordine în universul entropic (196).

Pentru a putea intra însă în posesia informațiilor necesare, sistemele cibernetice trebuie să sesizeze acele mici cantități de substanță și de energie care sînt purtătoarele informației. De aceea ele dispun de niște elemente specializate, așa cum sînt organele de simț ale sistemelor vii, sau celula fotoelectrică și termometrul sistemelor tehnice, cu ajutorul cărora pot sesiza acele infime cantități de energie care transportă informația generată de variațiile factorilor de mediu. Ochiul poate sesiza infima cantitate de energie luminoasă de 5×10^{-18} cal. Urechea poate sesiza energia de 10^{-11} ergi, iar organul mirosului poate sesiza o substanță chiar și în infima cantitate de 2×10^{-8} mg/cm^3. De aceea, în timp ce omul primește prin intermediul alimentelor, care îi asigură energia necesară, aproximativ 3000 de calorii pe zi, el nu primește prin intermediul semnalelor care ajung la organele sale de simț decît 2—3 calorii pe zi. Energia care este recepționată de ochi nu depășește o calorie, iar cea recepționată de ureche este de 100 de ori mai mică (171).

Recepționînd nu numai variațiile mari de substanță și de energie, ci și variațiile extrem de mici, sistemele cibernetice reușesc să se adapteze mult mai bine și să prevină

influențele distructive pe care le-ar putea avea variațiile mari de substanță și de energie. Recepționarea acestor mici cantități de substanță și de energie, neriscante și cu o mare valoare orientativă, este tot atît de necesară mecanismelor de reglare ca și substanța și energia fără de care nu pot funcționa. Pentru a putea păstra constantă temperatura, glicemia sau volumul de lichid, mecanismele de *feed-back* trebuie să primească retroactiv informațiile generate de variațiile lor. Cu cît traductorul va fi mai sensibil pentru a putea sesiza variațiile cele mai mici, cu atît mecanismul de *feed-back* va putea păstra elementul reglat în limite cît mai constante.

După V. M. Glușkov (41), informația este expresia neuniformității distribuției substanței și energiei în spațiu și timp. Orice redistribuire poate aduce o noutate, adică o informație. De aceea modificarea elementului reglat va reprezenta o informație pentru centrul de reglare al mecanismului de *feed-back*.

Dacă substanța și energia ar fi absolut uniform repartizate în spațiu și timp, într-o masă absolut omogenă, atunci nu s-ar putea vorbi de informație. Dar universul nu este o structură absolut izotropă. Substanța și energia sînt neuniform repartizate în spațiu și timp. Și tocmai prin neuniformitatea distribuției, prin continua lor mișcare și transformare, substanța și energia generează și transportă mereu informație. De aceea, dacă informația este indisolubil legată de substanță și de energie apoi și energia și substanța sînt, la rîndul lor, indisolubil legate de informație.

Substanța și energia pot genera și transmite, datorită ipostazelor foarte particulare sub care s-ar putea afla, informații foarte diferite. Tocmai de aceea informația este mult mai necesară, pentru a indica mecanismelor de reglare starea mereu particulară sub care se pot afla substanța și energia înconjurătoare și modul în care ar trebui să funcționeze pentru a atinge, în condițiile respective, scopul propus.

Majoritatea cibernetic ienilor, ocupîndu-se mai mult de mecanismele de reglare, s-au ocupat mai puțin de natura și de esența informației, mulțumindu-se să o definească din punct de vedere cantitativ ca pe o măsură a noutății. Informația este o realitate mult mai complexă decît cea cuprinsă în teoria matematică a informației. Este adevărat că sub impulsul progresului realizat de mijloacele tehnice

de calcul, studiul informației s-a detașat oarecum de știința ciberneticii. Dar nici informatica ce a luat naștere nu abordează natura și esența informației, legile sale de transformare și de conservare. Teoria matematică a informației și informatica nu au ca obiect informația, ci modul de transmitere și de prelucrare a semnalelor. De aceea este necesară apariția unei științe care să aibă ca obiect de studiu informația însăși, știință pe care noi am denumit-o *informatologie* (163).

Dar chiar dacă teoria matematică a informației nu reușește să epuizeze toate aspectele informației, ea este totuși extrem de utilă și de necesară (45). Conform teoriei informației, informația H pe care o poate aduce un experiment depinde de numărul n de rezultate posibile. Dacă toate rezultatele sînt echiprobabile, atunci $H = \log n$, după cum a arătat R. V. Hartley în 1928 (50). Dacă rezultatele nu sînt echiprobabile, atunci $H = \log \left(\frac{1}{pk}\right)$, unde p este probabilitatea de apariție a rezultatului k. Iar informația pe care o aduce un mesaj, adică o succesiune de semnale, va fi, după cum a arătat C. E. Shannon (176) în 1948:

$$H = -\sum_{k=1}^{n} pk \log pk.$$

Informația calculată cu aceste formule se măsoară în biți, bitul reprezentînd cantitatea de informație pe care o poate aduce o experiență cu numai două rezultate posibile și echiprobabile, cum ar fi da sau nu, alb sau negru etc. Trebuie remarcat însă că indiferent dacă rezultatul experienței este da sau nu, el tot un bit aduce. Desigur însă că informația generată de rezultatul nu va declanșa, în destinatar, alte reacții decît cea generată de rezultatul da. Aceeași cantitate de informație de un bit va declanșa deci, în funcție de calitatea ei, care scapă teoriei matematice a informației, reacții foarte diferite. Teoria informației studiază mai mult posibilitățile de apariție și de transmitere a semnalelor decît conținutul lor.

Transmiterea informației presupune un sistem de comunicație care trebuie să aibă cel puțin o sursă, un canal și un destinatar sau un receptor. Sursa de informație emite semnalele $x_1 x_2 ... x_n$, care pot fi literele dintr-o mulțime X a unui alfabet. Emiterea unui semnal x_i se realizează cu

probabilitatea $p(x_i)$. Adică sursa de informație S poate fi caracterizată de o mulțime de semnale care se pot realiza cu o anumită probabilitate, ceea ce se poate scrie $[X, x, p(x)]$.

Asupra semnalelor emise de sursă acționează de-a lungul canalului de comunicație anumite perturbații, care fac ca semnalele recepționate de destinatar să nu mai fie identice cu cele emise de sursă și uneori nici să nu mai facă parte din mulțimea X, ci dintr-o altă mulțime Y.

Primirea semnalelor de către destinatar se face și ea cu o anumită probabilitate $p(y)$. Adică receptorul poate fi caracterizat de mulțimea Y pe care o recepționează cu o anumită probabilitate $p(Y)$, ceea ce se poate scrie $[Y, y, p(y)]$.

Trebuie remarcat deci că informația recepționată de destinatar nu este identică cu informația emisă de sursă, deoarece prin canalul de comunicație se pierde o anumită cantitate de informație (fig. 6).

Teoria matematică a informației mai studiază și procesul de codificare, adică corespondența care se stabilește între semnalele $x_1x_2...x_n$ emise de sursă și elementele $u_1u_2...u_n$ ale unei mulțimi U. Legea potrivit căreia se asociază semnalelor $x \in X$ șiruri de semnale $u \in U$ se numește cod. Codul este deci o funcție definită pe X cu valori în U. Pot exista foarte multe coduri. Se poate face ca fiecărei litere din alfabetul obișnuit să-i corespundă un anumit șir de linii și de puncte, așa cum se întîmplă în alfabetul Morse, spre exemplu.

Codificarea informației este un proces foarte util, fără de care nu ar fi posibilă transmiterea informației de la un sistem cu o anumită structură la un sistem cu o altă structură, care nu poate primi și transmite prin structurile sale

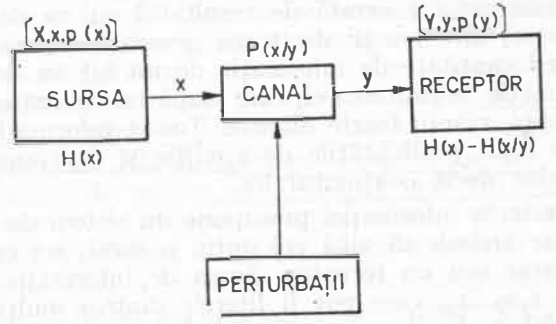


Fig. 6. Schema matematică a unui sistem de comunicație (după S. Guiașu).

semnalele emise de sursă. Fără codificare nu ar fi deci posibilă comunicația între sisteme cu structuri diferite. Foarte multe surse emit, spre exemplu, semnale sonore, care se transmit pînă la receptor sub forma unor vibrații acustice. Dar nici omul și nici magnetofonul care le recepționează nu pot transmite prin structurile lor vibrațiile acustice și de aceea le transformă în stimuli nervoși și în curent electric. Deoarece codifică, decodifică și recodifică informațiile pentru a le putea transmite mai întîi prin intermediul unor impulsuri nervoase, de-a lungul prelungirilor neuronale, iar apoi prin intermediul unor mediatori chimici de la un neuron la altul, sistemul nervos prelucrează informațiile cu o viteză mult mai mică decît calculatorul electronic care transmite informațiile cu o viteză de peste 200 000 km pe secundă. Deși nu poate transmite informațiile cu o viteză mai mare de 120 m pe secundă, organismul uman reușește totuși să le prelucreze de obicei în timp util pentru a face față diferitelor situații.

Atunci cînd în mediu se produc anumite evenimente, cum ar fi mișcarea unui corp sau o anumită explozie, care prin mărimea lor ar putea periclita existența organismului, acesta recepționează acea mică cantitate de substanță și de energie pe care corpul sau explozia respectivă le împrăștie în jur sub forma unor unde luminoase sau acustice, care se transmit cu o viteză mult mai mare decît corpul sau fenomenul care le-a generat.

Recepționînd aceste mici cantități de substanță și de energie, care nu pun în pericol existența sistemului, el se poate informa la timp despre pericolul pe care evenimentele ce le-au generat l-ar putea produce. Iar datorită vitezelor foarte mari cu care ele se pot transmite, sistemul dispune de obicei de timpul necesar pentru a alege și a îndeplini deciziile cu ajutorul cărora să poată preveni pericolul respectiv. Astfel, sistemele cibernetice utilizează în interesul lor această lipsă de discreție a naturii care caută parcă să dea de veste prin intermediul unor mijloace ondulatorii despre existența sau modificarea unor fenomene.

În acest sens trebuie remarcat că după ce A. Einstein a enunțat caracterul dual, de corpuscul și de undă, al luminii, L. de Broglie a extins, în 1924, această concepție la întreaga materie. El a arătat că dacă timp de un secol s-a neglijat aspectul corpuscular al luminii, se face o greșeală similară atunci cînd se neglijează aspectul ondulator

în favoarea aspectului corpuscular. După L. de Broglie, dincolo de aparențe, toate particulele au și proprietăți ondulatorii. De aceea undele asociate particulelor elementare au fost denumite unde de Broglie. Lungimea lor de undă este cu atît mai mică cu cît particula respectivă are masa mai mare și se deplasează cu o viteză mai mare.

Cea mai mare cantitate de informație pe care o primește omul, adică 90%, îi parvine tocmai pe această cale ondulatorie a luminii. Doar sub 1% din informația recepționată îi parvine prin contact direct, mai mult corpuscular decît ondulator, prin intermediul gustului și mirosului. Dar și în acest caz organismul și-a luat măsurile sale de prevedere, sesizînd existența substanțelor respective în cantități extrem de mici.

Dar omul primește informații nu numai prin intermediul organelor de simț, ci și prin intermediul alimentelor, spre exemplu (20). Alimentele, ca și toate celelalte substanțe,-între care intră și medicamentele, conțin și transportă o anumită informație structurală. Aceasta este determinată de modul în care sînt distribuiți în spațiu atomii din care sînt constituite substanțele respective. Informația pe care o conține o moleculă poate fi apreciată în funcție de incertitudinea care ar trebui înlăturată pentru a putea stabili poziția atomilor în molecula respectivă. Așa spre exemplu, dacă o celulă conține vreo 60 de feluri de atomi, atunci cînd sintetizează o moleculă, ea are nevoie de o informație de aproximativ $H = \log_2 60$, adică de șase biți. Deoarece nu toți cei 60 de feluri de atomi sînt folosiți cu aceeași frecvență, șase dintre ei, și anume carbonul, hidrogenul, oxigenul, azotul, sulful și fosforul, fiind folosiți mai des, informația necesară alegerii unui atom se reduce la aproximativ 1,5 biți. Ureea, care este formată din opt atomi, ar conține astfel aproximativ 17 biți. Albumina, care este formată din aproximativ 500 de aminoacizi, ar conține 2000 de biți iar fibrinogenul, care este format din 3400 de aminoacizi, ar conține 13 000 de biți. Iar întregul organism ar conține, după H. Quastler (117), aproximativ 10^{25} biți. Informația pe care o aduce în realitate o moleculă, care intră într-o anumită reacție chimică, nu este de obicei egală cu cea calculată pe baza probabilităților atomilor săi. Informația pe care o aduce o moleculă poate fi studiată și cu ajutorul teoriei cuantice (178) care arată că de multe ori este mai importantă forma moleculei decît atomii din care ea este formată.

Această formă, sau mai bine zis o parte din ea, poate fi recunoscută de o altă moleculă cu o conformație spațială complementară. Conformația complementară este necesară pentru a face posibilă intrarea în funcțiune a unui număr suficient de mare de forțe slabe de tipul forțelor van der Waals, care au o rază foarte mică de acțiune. Prin conformația spațială pe care o au, toate moleculele organismului conțin o anumită informație structurală cu ajutorul căreia se recunosc între ele: așa cum substratul este recunoscut de enzima care trebuie să-l metabolizeze, hormonul este recunoscut de receptorul asupra căruia trebuie să acționeze, iar antigenul este recunoscut de anticorpul care trebuie să-l neutralizeze. Făcînd posibilă recunoașterea fiecărei molecule de către celelalte molecule cu care trebuie să intre în reacție, informația structurală reprezintă un adevărat program de prelucrare cu ajutorul căruia se autoreglează reacțiile biochimice care, cel puțin datorită numărului lor foarte mare, nici nu ar putea fi reglate alt fel (143).

Există deci foarte multe feluri de informație. V. Săhleanu (172) arată că există o informație cognitivă, cu care lucrează conștiința noastră, o informație fizică, generată de fenomenele fizice, o informație chimică generată de structura chimică a moleculei, o informație liberă, una legată, alta latentă, genetică, antigenică etc.

V. Stancovici (180) vorbește de informația de adaptare, necesară tuturor animalelor pentru a se putea adapta la situația prezentă, de o informație științifică care face posibilă adaptarea la situațiile viitoare, și de o informație fundamentală legată de esențe, adică de spațiu și de timp.

Fiecare dintre definițiile date și fiecare din împărțirile la care a fost supusă privește însă informația doar dintr-un anumit punct de vedere. Teoria informației nu o privește, după cum arată Barr-Hillel (11), decît din punctul de vedere al apariției și al transmiterii semnalelor, dar nu și din punctul de vedere al conținutului lor, fapt care face necesară și o teorie semantică a informației. Atunci cînd vorbim despre măsura informației, despre cantitatea de informație sau despre conținutul informațional al unui mesaj, avem în vedere doar frecvența relativă a semnalelor respective. Dar evenimentul transmiterii semnalelor respective și evenimentul exprimat de aceste semnale sînt două evenimente total diferite. De aceea Barr-Hillel susține că semnificația informației nu are nimic comun cu comunicarea ei.

Dacă intrăm însă în intimitatea fenomenului, adică a mecanismului prin care se acordă semnificația, constatăm că transmiterea și semnificația, chiar dacă nu se suprapun niciodată, nu sînt totuși două fenomene absolut independente. Noi am arătat că dacă informația, prin semnificația ei, trebuie să înlăture o incertitudine privind modul în care ar putea fi folosite substanța și energia de care dispune destinatarul, ea va putea avea tot atît de multe semnificații pe cît de multe ar putea fi modurile de folosire a substanței și energiei de care dispune destinatarul respectiv (123). Semnificația pe care o poate acorda destinatarul depinde deci de repertoriul său de funcții. Cu cît dispune de un repertoriu mai larg, cu atît va putea acorda mai multe semnificații. Pentru a putea acorda însă o anumită semnificație din acel repertoriu de funcții, informația va trebui să ajungă într-un anumit fel la acea adresă a repertoriului. De aceea semnificația nu mai poate fi complet despărțită de comunicație pentru că ea se stabilește prin intermediul comunicației dintre obiectul semnificat și organul semnificant. Este evident că dacă doi destinatari, foarte asemănători din alte puncte de vedere, au repertorii diferite, sau dacă din anumite motive informația nu poate fi condusă spre aceeași adresă, ei vor acorda aceleiași informații semnificații foarte diferite. Schematic, lucrurile se petrec ca și cînd destinatarul ar fi format din mai mulți destinatari, numărul lor fiind egal cu numărul adreselor din repertoriul său care ar putea acorda diferite semnificații sau, și mai clar, care pot reacționa diferit la aceeași informație. Dacă am încerca să aplicăm și aici teoria probabilităților, am constata că în timp ce informația depinde de probabilitatea de producere a diferitelor evenimente posibile, semnificația depinde de probabilitatea sistemului semnificant ce conduce informația respectivă spre diferitele sale adrese (fig. 7). Semnificația este proprie sistemelor complexe și hipercomplexe. În orice caz, nu se poate vorbi despre nivelul semantic al unui sistem care are o singură adresă și un singur mod de a reacționa. El va reacționa la fel chiar și la informații diferite.

Prin prelucrarea informațiilor, sistemele cibernetice caută să se ridice deasupra nivelului substanțial-energetic, față de care cîștigă o anumită independență. Iar prin acordarea semnificațiilor, ele caută să se ridice chiar și deasupra nive-

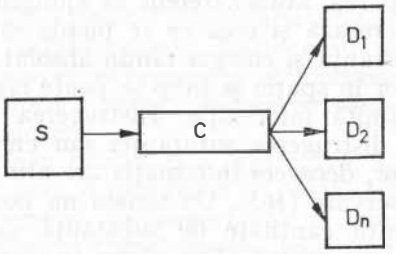


Fig. 7. Semnificația informației depinde nu numai de particularitățile sale obiective, ci și de capacitatea destinatarului de a reacționa în mod specific la diferitele semnale pe care le primește. Cu cît va avea un repertoriu mai mare de reacții specifice $D_1D_2 \ldots D_n$, cu atît va putea acorda semnificații mai nuanțate semnalelor pe care le primește.

lului informațional, interpretînd informația în funcție de programul lor de funcționare.

C. Bălăceanu și Ed. Nicolau deosebesc nivelul substanțial și energetic, care se referă la sistemul de comunicație, de nivelul informațional care se referă la legile de distribuire a semnalelor și de nivelul semantic care se referă la conținutul semnalelor respective (14).

Sistemul semantic dispune de niște receptori care, explorînd universul perceptual, realizează un model al acestui univers, model care va fi apoi raportat mereu, cu ajutorul unui dispozitiv de gîndire, pe baza unui sistem logistic, la un sistem de clasificare care se nuanțează și se amplifică neîncetat pentru a putea aproxima cît mai bine universul respectiv (12).

Dispunînd de cel mai bun dispozitiv de gîndire, de cel mai bun sistem logistic și de cel mai amplu și mai nuanțat sistem de clasificare, omul este, după cum remarcă H. Wald (193), ființa semnificatoare prin excelență.

Fiind expresia neuniformității și a diversității, informația nu poate fi epuizată niciodată. Despre ea s-au spus și se vor mai spune foarte multe lucruri, tocmai pentru că fiind expresia diversității pe care, de multe ori, așa cum se întîmplă în cazul informației genetice, o și precede, ea nu poate fi încorsetată în limitele rigide ale unei definiții sau ale unei clasificări.

Dacă avem în vedere că în conformitate cu legea conservării materiei, substanța nu se poate crea din nimic și nu poate dispărea și că în conformitate cu primul principiu al termodinamicii nici energia nu se poate crea din nimic

și nu poate dispărea, atunci trebuie să ajungem la concluzia că ceea ce se creează și ceea ce se pierde este informația. Chiar dacă substanța și energia rămîn absolut aceleași, prin redistribuirea lor în spațiu și timp se poate crea și se poate distruge o anumită informație. Distrugerea informației nu înseamnă însă distrugerea substanței sau energiei, ci doar redistribuirea lor, deoarece informația are alte legi de transformare și conservare (163). Un sistem nu poate oferi altui sistem o anumită cantitate de substanță sau de energie fără ca el să nu o piardă. Dar el poate oferi altui sistem o anumită cantitate de informație fără ca să o piardă. Un om care emite o informație nu pierde nimic din informația pe care o avea. Tot așa un film sau o bandă de magnetofon pot fi rulate la infinit fără a pierde informația pe care o conțin, dacă substanța din care sînt formate ar permite acest lucru. Ceea ce pierde de obicei sistemul cînd emite o informație este tot o anumită cantitate de substanță și de energie. Fiind partea cea mai comunicabilă a realității, informația pe care o posedă sistemul este trecută de pe substanța care o conservă pe o altă substanță capabilă să o transporte pînă la sistemul care o recepționează. Tocmai pentru că fiind partea cea mai comunicabilă a realității ea poate fi trecută de pe o moleculă pe o fotografie sau de pe o carte pe un disc iar de pe disc pe o bandă de magnetofon, putem deosebi informația de substanța și de energia care o conțin și o transportă. Informația este tocmai ceea ce se transmite de pe un suport pe altul. De aceea cînd transmitem o informație nu are importanță suportul material, decît în măsura în care el trebuie structurat într-un anumit fel pentru a putea fi recepționat de sistemul care o primește.

Faptul că cu ajutorul unor structuri foarte diferite se pot transmite informații asemănătoare oferă posibilitatea de a înlocui după necesități suporturile materiale. Așa spre exemplu, informația structurală pe care o aduce adrenalina pentru receptorii adrenergici de pe membrana unor celule poate fi transmisă și cu alte molecule, cum este metaraminolul. Iar descoperirea receptorilor asupra cărora acționează morfina a dus la descoperirea endorfinelor secretate de către sistemul nervos pentru a acționa în mod natural asupra acestor receptori (39). Toate medicamentele pe care le administrăm au și o valoare informațională. Unele se substituie unor informații endogene. Altele acționează asupra

moleculelor care transmit informația endogenă. Iar altele, așa cum sînt betablocantele, foarte mult folosite în tratamentul cardiopatiei ischemice și al hipertensiunii arteriale, blochează receptorii asupra cărora ar trebui să acționeze informația endogenă.

Fiind expresia ordinii și a organizării, sau mai bine zis a noutății pe care o dezordine o poate aduce, informația este o parte extrem de importantă a lumii aflată într-o continuă mișcare și transformare. În spatele numeroaselor frumuseți ale acestei lumi se ascunde de fapt informația, iar în spatele emoțiilor și sentimentelor noastre se află semnificația pe care noi i-o acordăm.

Aranjînd într-un anumit fel substanța și energia, conținute în materia primă pe care a prelucrat-o, Brîncuși a creat prin operele sale, care ne transmit o elevată informație artistică, o anumită ordine și organizare capabile să determine niște sentimente infinit mai înalte decît cele pe care ar putea să le determine substanța și energia conținute în piatra brută din care au fost create.

Crearea unei opere de artă, ca și crearea unui organism, care reprezintă o operă a naturii, nu înseamnă crearea de substanță și de energie, ci doar organizarea într-un anumit fel a substanței și energiei care existau, ceea ce înseamnă de fapt crearea de informație. Și tot așa, distrugerea unei opere de artă sau dispariția unui organism nu înseamnă dispariția substanței sau energiei din care au fost create, care reintră în circuitul naturii, ci dispariția informației pe care prin ordinea și organizarea lor o conțineau. Iar ele pot rămîne în amintirea noastră, nu prin substanța și energia, ci tot prin informația pe care ne-o lasă, sau cu care noi rămînem despre existența lor.

CAPITOLUL VI

UNIVERSALITATEA INFORMAȚIEI

Se vorbește de multe ori despre universul informațional (172, 182). Dar aceasta nu este decît o figură de stil din moment ce informația este indisolubil legată de substanța și de energia care o generează și o transportă și din moment ce substanța și energia în mișcarea lor continuă nu pot să nu genereze și să nu transporte o mare cantitate de informație. Dată fiind această legătură reciprocă, se poate vorbi însă de o universalitate a informației, deoarece pretutindeni unde există substanță și energie trebuie să existe și informație.

Deși unii autori o antropologizează prea mult, legînd-o prea mult de om și de cunoașterea sa, informația există independent de existența omului. Informația sa genetică există, spre exemplu, chiar înainte de apariția lui. Informația este o realitate obiectivă tot atît de răspîndită ca și substanța și energia, deoarece nu pot exista substanțe și energii absolut neinformaționale. Pretutindeni unde există ele trebuie să aibă o anumită distribuție în spațiu și timp, care prin neuniformitatea ei generează mereu informație. Acest lucru se întîmplă la toate nivelele de organizare ale materiei, de la nivelul cuantic, atomic, molecular, macromolecular, celular, organic, organismic, populațional și social și pînă la nivelul cosmic și astral. Peste tot, la toate nivelele, substanța și energia generează și transmit informație. Peste tot există, după cum remarcă Ed. Nicolau (96), semnale. Lumea este plină de semnale, care se transmit de la un capăt la altul al universului, independent de existența omului.

La nivel cuantic, spre exemplu, fotonul este purtător de informație. Transmițînd lumina cu uluitoarea viteză de 300 000 km pe secundă, el informează aproape instantaneu

toate sistemele din univers despre fenomenul care s-a produs, sau mai exact care l-a produs.

La nivel molecular și macromolecular, substanțele conțin și transmit o anumită informație structurală care intervine, sau mai bine zis reglează, reacțiile biochimice. Această informație structurală are un rol atît de important, încît unii biochimiști afirmă că ea este aceea care a făcut pasul de la chimie la biochimie (172). Iar informația cuprinsă în molecula acizilor nucleici este purtătoarea informației genetice. La toate animalele macromolecula acizilor nucleici este formată din aceleași substanțe: un zahar (riboză sau dezoxiriboză), două baze purinice (adenina și guanina) și trei baze pirimidinice (citozina, timina și uracilul). După modul în care sînt distribuite în spațiu de-a lungul filamentului, care la om atinge lungimea de aproape doi metri (55), bazele purinice și pirimidinice vor transmite o anumită informație viitorului organism. Din multiplele forme și culori posibile, acesta va avea o anumită formă și o anumită culoare. Va fi scund sau înalt, blond sau brunet, mai frumos sau mai urît. Viitorul organism va folosi substanța și energia pe care le va lua din mediul înconjurător conform informației sale genetice. Iar dacă celula reușește să fie un laborator capabil să sintetizeze aproximativ 1400 de molecule pe secundă (62), acest lucru se datorește nu numai energiei furnizate de cele 2 500 000 de mol de ATP, care reprezintă furnizorul direct de energie necesară pentru desfășurarea reacțiilor endergonice, ci și marii cantități de informație structurală cuprinsă în acizii nucleici, în moleculele de enzime și altele. Moleculele pe care le sintetizează celula conțin și ele apoi mare cantitate de informație structurală. Proteinele, spre exemplu, tocmai datorită informației structurale pe care o conțin, pot îndeplini și rolul de enzime. Ele se unesc, datorită unor suprafețe complementare, cu substratul asupra căruia trebuie să acționeze. Unele substanțe, cum ar fi hormonii, sînt secretate în afara celulei pentru a influența activitatea altor celule. Și tocmai pentru rolul pe care îl au, prin influențele pe care le exercită, asupra mecanismelor de reglare, R. Guillemin (49) a denumit neurohormonii secretați de hipotalamus drept cibernine.

Există deci un schimb permanent de informații între diferitele organite ale celulei și între diferitele celule ale organismului, schimb fără de care organismul nici nu ar putea exista.

Dacă la nivelul cuantic, atomic și molecular informația există, dar fenomenele fiind mai strict determinate, ea nu poate acționa, la nivel macromolecular, celular, tisular, organic, organismic, populațional și social, unde libertatea fenomenelor este din ce în ce mai mare, ea trece pe primul plan. Tocmai de aceea organismul este și un foarte complicat sistem de comunicații (145). Nu există moleculă din organism care să nu exercite, pe lîngă rolul ei substanțial, sau mai bine zis odată cu acesta, și un anumit rol informațional. Nu există celulă din organism care să nu conțină o mulțime de sisteme de comunicație necesare transmiterii informației genetice și sintezei proteinelor. Și nu există celulă din organism care să nu facă parte dintr-un sistem de comunicație supraordonat, necesar transmiterii informațiilor culese de către organele de simț, sau care să nu secrete, să nu transmită sau să nu primească anumiți mesageri chimici.

Ființa umană nu poate fi concepută în afara comunicației. E. Pamfil (105) arată că dialogul reprezintă condiția liminară a conștiinței și a psihicului uman. De aceea omul primește și emite mereu informații în mediul înconjurător. Aceasta face ca esența omului să nu constea în aspectul său corporal, ci, dincolo de aparențe, în capacitatea sa de a prelucra informații (97).

La nivelul social schimbul de informații devine atît de intens și de important, încît nu numai că au apărut și s-au dezvoltat extrem de mult mijloacele de comunicație, cum ar fi cartea, radioul, telefonul și televizorul, dar a apărut chiar o industrie a informațiilor, așa cum este industria tipografică în plină dezvoltare.

În diferite etape ale evoluției, societatea a folosit cu preponderență anumite mijloace de comunicație. Făcînd un studiu critic al mijloacelor de comunicație, Mc Luhan (77) subliniază nu numai importanța informațiilor, ci și a mijloacelor prin care ele se transmit. Folosirea cu predominență a unor mijloace, cum ar fi cartea, poate hipertrofia anumite simțuri în defavoarea altora, avînd deci influențe profunde asupra ființei umane.

Dezvoltarea mijloacelor de comunicație a dus la mai rapida răspîndire a informațiilor. Ea a lărgit considerabil aria de comunicație a indivizilor, contribuind la răspîndirea și accelerarea progresului tehnico-științific. Dezvoltarea mijloacelor de comunicație a lărgit atît de mult sfera de culegere a informațiilor, încît omul este astăzi capabil să recepționeze, cu ajutorul unor radiotelescoape, informații de la fantastica distanță de șase miliarde de ani lumină, care ne desparte de galaxia Boarului (169).

Chiar dacă universul este în expansiune, chiar dacă plecînd de la acea mare explozie, de la acel big-bang a lui G. Gamow, unele galaxii se îndepărtează de noi cu o viteză mai mare decît viteza luminii, adică cu o viteză mai mare decît viteza maximă cu care am putea primi informații, aceasta nu înseamnă că acolo nu există informație. Chiar dacă nu va putea ajunge niciodată pînă la noi, ea există însă și acolo. Întregul univers, de la micro- și pînă la macrocosmos, este deci nu numai substanțial și energetic, ci și informațional. Informația este universală. Ea este o realitate obiectivă. Ea este un mod de existență al materiei. Ea există pretutindeni, chiar și acolo unde nu are încă cine să o sesizeze.

CAPITOLUL VII

CÎMPUL INFORMAȚIONAL

După ce este generată de neuniformitatea substanței și energiei în spațiu și timp, informația se transmite apoi în mediul înconjurător. Prin diferite mijloace, cum ar fi undele de lumină, undele radio și undele acustice, ea reușește să ajungă de la emițător la receptor. Iar dată fiind universalitatea informației, ajungem la concluzia că există o mulțime, dacă nu chiar o infinitate de surse și de receptori. Orice mișcare, orice modificare, orice transformare a substanței și energiei poate reprezenta o sursă de informație. Împrăștiind în jur cantități foarte mici de substanță și de energie, cum sînt fotonii, modificările respective înștiințează lumea din jur despre producerea lor. Desigur că nu orice punct pe care cade această infimă cantitate de substanță și de energie reprezintă și un receptor. Pentru a fi receptor, acel punct trebuie să fie influențat într-un fel oarecare de această infimă cantitate de materie și de energie. Multe animale dispun de organe de simț care pot fi influențate într-un anumit fel de undele de lumină. Undele radio pot produce de asemenea anumite modificări în aparatul de radio-recepție. Numai sistemul care poate fi influențat într-un fel oarecare de semnalele emise de sursă poate deveni receptor. Astfel, între sistemul de emisie și sistemul de recepție, care ar putea fi considerate ca două puncte ale unui spațiu, se stabilește o anumită legătură. Receptorul nu mai este indiferent de starea emițătorului. Și pentru că spațiul ale cărui puncte nu sînt absolut independente devine un cîmp, spațiul în care se află sursele de emisie și sursele de recepție devine, de fapt, un cîmp informațional (140).

Punctele de emisie ale spațiului informațional pot influența punctele de recepție. De multe ori, punctele de emisie emit informații tocmai pentru a influența starea punctelor care

le recepționează. Iar acestea recepționează informația tocmai pentru a se putea adapta la modificările intervenite în starea punctelor de emisie. Sistemele care recepționează informațiile din cîmpul informațional își pot modifica uneori în așa fel starea lor internă, încît să se poată opune perturbațiilor pe care modificările ce au generat informațiile respective le-ar putea produce. Spre deosebire deci de toate celelalte cîmpuri, cum ar fi cîmpul gravitațional sau cel electromagnetic, în care punctul *A* influențează în așa fel punctul *B* încît îl aduce într-o stare de dependență, în cîmpul informațional punctul *A* exercită asupra punctului *B* o influență care îl ajută să evite influențele ulterioare pe care acesta le-ar putea avea asupra sa. Un far, spre exemplu, produce anumite influențe asupra ochiului. Dar prin aceste influențe reversibile, sistemul cibernetic al organismului uman reușește să evite o influență mai mare și ireversibilă, cum ar fi o ciocnire. În legătura informațională care se stabilește între două puncte cel puțin unul dintre ele are tendința de a se sustrage, cu ajutorul informațiilor pe care le primește, de sub influențele entropice, de natură substanțial-energetică, pe care le-ar putea exercita punctul de emisie. Punctul capabil să realizeze acest lucru cîștigă o mare independență față de mediul în care se află.

La această independență se ajunge datorită faptului că spre deosebire de legăturile substanțial-energetice, legătura informațională nu supune destinatarul unor influențe pasive. La primirea unei informații destinatarul se reorganizează activ, folosind propria lui energie. Energia pe care o aduc semnalele nu este necesară decît pentru a determina trecerea elementelor instabile, așa cum este rodopsina, de la nivelul receptorilor periferici, dintr-o stare în alta. Restul modificărilor care au loc în destinatar se produc pe propria lui cheltuială de energie. Astfel, destinatarul se sustrage de sub influențele substanțial-energetice ale sursei de emisie. Dar pentru a nu fi supus în prea mare măsură nici influențelor informaționale ale sursei, modificările sale interne vor depinde nu atît de informația primită, cît de programul său de funcționare (fig. 8). În felul acesta apare o cauzalitate informațională (54, 161), în care efectul nu depinde atît de cauza care l-a produs, cît de programul de funcționare al sistemului asupra căruia acționează. Cauzalitatea informațională este răspunzătoare de

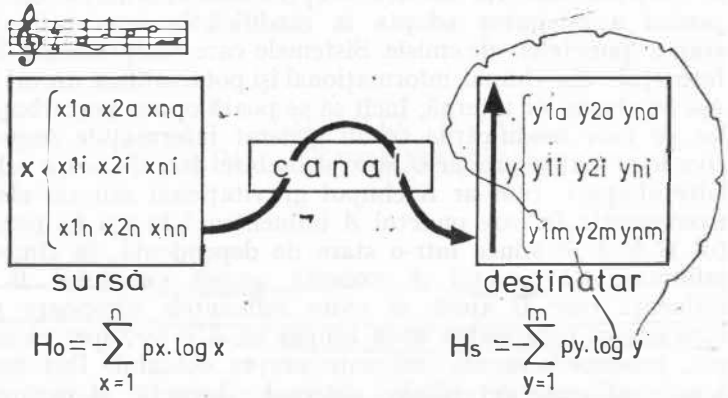


Fig. 8. Reprezentarea schematică a legăturii informaționale în care destinatarul nu este atît de supus influențelor sursei ca în legăturile substanțial-energetice, deoarece el se reorganizează cu propria lui energie (reprezentată pe schemă de săgeata groasă) și în funcție de programul său de funcționare.

marea variabilitate comportamentală a sistemelor biologice, pe care J. Monod le-a denumit obiecte cu program (90).

O cauză foarte mică, adică o cantitate foarte mică de substanță și de energie, poate determina o reacție foarte importantă, deoarece ea nu depinde de energia adusă de semnale, ci de energia sistemului care o recepționează. R. H. Wright (198) arată că 30 de molecule de feromon, secretat de femela gîndacului de bucătărie american, sînt suficiente pentru a determina deplasarea cu o viteză de 4 cm pe secundă a masculului care cîntărește două grame. Disproporția dintre cauză și efect este în acest caz de 10^{11}, adică de un milion de ori mai mare decît aceea dintre energia bombei cu hidrogen și a vectorului care o transportă. Or în sistemele biologice se produc foarte multe astfel de amplificări ale efectului, aproape explozive, facilitate de faptul că reacția receptorului depinde de propria lui energie. De aceea procesul prin care neuronul emite semnalele sale de ieșire a și fost denumit detonare, deoarece dacă semnalele de intrare depășesc un anumit prag, atunci neuronul va emite cu propria lui energie niște semnale de intensitate maximă (95).

Punctele cîmpului informațional se mișcă cu o libertate foarte mare și uneori chiar la întîmplare. Dacă mișcarea

lor nu ar avea nici un grad de libertate, atunci schimbul de informații ar deveni inutil, deoarece mișcarea lor ar putea fi dinainte cunoscută. Primirea unei informații va îndrepta punctele în anumite sensuri, ajutîndu-le să utilizeze în modul cel mai adecvat marea lor libertate de acțiune. Unele puncte vor fi influențate mai mult, altele mai puțin în funcție de direcția pe care o au în cîmpul informațional. Iar punctele care din întîmplare se mișcau exact în direcția sugerată de informațiile generate de cîmpul respectiv nu vor suferi nici o influență. Ele se vor mișca în continuare ca și cînd nimic nu s-ar fi întîmplat, ca și cînd n-ar fi primit nici o informație. Aceasta înseamnă că informația pe care o primește, de fapt, un punct din acest cîmp nu depinde numai de mișcarea punctelor care o generează, ci și de mișcarea punctelor care o recepționează.

Dacă facem o secțiune printr-un cîmp informațional în care se produce o experiență cu numai două rezultate posibile și reprezentăm probabilitățile lor pe un sistem de coordonate, constatăm că pe baza probabilităților putem deduce sensul de desfășurare al experienței (fig. 9). În cîmpul informațional se pot afla desigur și alte sisteme care, conform programului lor de funcționare, se vor deplasa și ele în anumite sensuri. Dacă sensurile lor de desfășurare se vor suprapune peste sensul de desfășurare al experienței, atunci toate se îndreaptă spre același rezultat. Iar rezultatul experienței nu le mai aduce nici o informație.

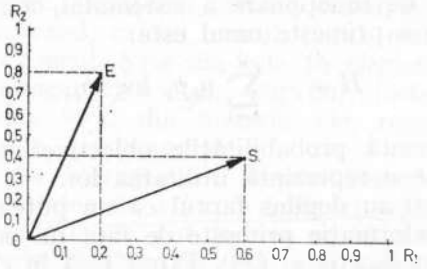


Fig. 9. Dacă facem o secțiune printr-un cîmp informațional în care se desfășoară o experiență E cu numai două rezultate posibile R_1 și R_2, constatăm că informația pe care ea o poate aduce nu depinde atît de probabilitățile rezultatelor sale, cît de diferența dintre sensurile de desfășurare a experienței și a sistemului S care recepționează informațiile respective. Cu cît sensurile lor vor fi mai diferite, cu atît rezultatele experienței vor aduce o informație mai mare.

Desigur că sistemele care se îndreaptă în alte sensuri decît cel al experienței vor primi o anumită cantitate de informație. Dar ea nu va fi egală cu informația determinată pe baza probabilităților calculate statistic, care ar fi aceeași pentru toate sistemele indiferent de sensurile lor de desfășurare. Ea nu va putea fi egală însă nici cu informația calculată pe baza probabilităților subiective, deoarece dacă informația ar depinde numai de probabilitățile subiective, atunci nu s-ar mai avea deloc în considerare desfășurarea obiectivă a fenomenelor, care duce de fapt la apariția probabilităților subiective. Factorii motivaționali și probabilitățile subiective au totuși o importanță foarte mare în determinarea cantității de informație pe care o primește organismul uman, deoarece cu ajutorul lor putem deduce sensurile sale, tendințele sale de desfășurare. De aceea noi am arătat că, fiind egală cu incertitudinea pe care o înlătură, informația H_s pe care o primește omul este egală cu diferența dintre informația H_a calculată pe baza probabilităților obiective și informația H_r calculată pe baza probabilităților subiective, adică $H_s = H_a - H_r$ (199). Luînd de asemenea în considerare probabilitățile subiective, H. Frank (37) arată că informația pe care o primește omul este:

$$H = -\sum_{k=1}^{n} pk \log wk,$$

unde wk reprezintă tocmai probabilitățile subiective. Iar M. Beliș (16), luînd în considerare utilitatea, care depinde de programul de funcționare a sistemului, arată că informația pe care o primește omul este:

$$H = -\sum_{k=1}^{n} u_k p_k \log p_k,$$

unde p reprezintă probabilitățile obiective de apariție a semnalelor, iar u reprezintă utilitatea lor.

Mulți autori au deplîns faptul că nu putem aprecia ce cantitate de informație primește de fapt un om și cu atît mai puțin semnificația ei (58). Privit însă în cîmpul informațional acest lucru devine mult mai posibil. Este suficient să descoperim sensurile biologice, etice și afective, precum și probabilitățile pe care omul le acordă diferitelor fenomene și să le comparăm cu sensurile reale de desfășurare a fenomenelor, pentru a putea aprecia, chiar dacă nu cu prea mare exactitate, informația pe care o primește un om.

CAPITOLUL VIII

INFORMAȚIA GENETICĂ

Fiind niște sisteme a căror ordine, deși nu este cu desăvîrșire exclusă, nu poate apărea și nu se poate menține totuși în mod spontan, sistemele vii nu pot apărea și nu pot trăi în afara unui cîmp informațional.

Pentru că ordinea sistemelor vii nu poate apărea în mod spontan, pentru că ea nu este impusă de condițiile de mediu așa cum este impusă ordinea dintr-un cristal, care apare în mod spontan și obligatoriu în anumite condiții de mediu, pentru ea ordinea sistemelor vii nu este decît o anumită ordine din numeroasele ordini posibile, pentru apariția vieții este nevoie încă de la început de o anumită informație, tocmai de aceea numită genetică.

Toate sistemele vii sînt constituite din aproximativ aceleași materii prime. Ele folosesc mai ales 16 din cele peste 100 de elemente chimice cunoscute astăzi, și anume: carbonul, hidrogenul, oxigenul, azotul, sulful, fosforul, sodiul, potasiul, magneziul, calciul, clorul, fierul, manganul, cobaltul, cuprul și zincul. Șase din cele 16 elemente, și anume: carbonul, hidrogenul, azotul, oxigenul, fosforul și sulful, formează peste 99% din materia vie, reprezentînd deci elementele sale fundamentale.

Cu excepția hidrogenului, aceste elemente fundamentale au proprietatea de a forma legături multiple. Datorită acestei proprietăți, ele pot îmbina stabilitatea cu mobilitatea caracteristică sistemelor vii. Mai ales fosforul și sulful, avînd această proprietate, vor fi prezente în toate reacțiile de schimb caracteristice sistemelor vii.

Pusă într-o soluție conținînd glucoză și cîțiva ioni anorganici, cum ar fi NH_4Cl, $MgSO_4$, KH_2PO_4 și Na_2HPO_2, minuscula bacterie de *Escherichia coli*, cu o lungime de numai doi microni, este capabilă să sintetizeze circa 6000

de feluri de molecule diferite. Pornind de la glucoză și de la cei cîțiva ioni anorganici, care îi oferă substanța și energia necesare, ea este în stare să sintetizeze singură cei 20 de aminoacizi, prin așezarea cărora în diferite feluri poate produce vreo 3000 de proteine diferite.

Cei 20 de aminoacizi și cele 3000 de feluri de proteine nu apar însă în mod spontan și obligatoriu. Pentru apariția lor sînt necesare o serie întreagă de reacții chimice în care materia primă oferită de mediu să fie transformată în anumite substanțe din numeroasele substanțe posibile.

Pornind de la aceleași șase elemente fundamentale, se pot sintetiza peste un miliard de molecule cu greutatea sub 6500. În construcția lor sistemele vii nu au ales decît vreo 70 de molecule din cele peste un miliard de molecule posibile. Prin combinarea în diferite feluri a celor 70 de molecule, ele pot obține însă o mulțime de macromolecule. Plecînd însă de la aceiași 20 de feluri de aminoacizi, o altă bacterie, cum ar fi bacilul tific spre exemplu, va sintetiza alte proteine de mare specificitate. Deci nu numai numărul de combinații micromoleculare, ci și numărul de combinații macromoleculare poate fi foarte mare. Prin aranjarea diferită a 288 de aminoacizi se pot obține 10^{300} de variante. Acest număr de variante, sau de izomeri cum li se spune, este atît de mare, încît dacă am aduna cîte o singură moleculă din fiecare izomer am obține un corp cu o greutate de 10^{280} grame, față de 10^{27} grame care reprezintă greutatea pămîntului (179).

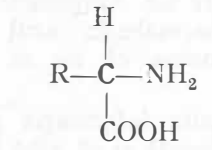
Aceasta înseamnă că ordinea din sistemele biologice nu numai că nu este singura ordine posibilă, ci există un număr foarte mare de ordini posibile. În aceleași condiții substanțial energetice pot exista o mulțime de ordini posibile. Tocmai de aceea pentru a defini o ordine din mulțimea ordinilor posibile, pe lîngă substanță și energie mai este necesară și o anumită informație inițială, căreia în sistemele vii i se spune informație genetică.

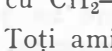
Informația genetică nu determină producerea unor fenomene imposibile. Ea nu face altceva decît să aleagă și să imprime fenomenelor un anumit mod de desfășurare, din numeroasele moduri de desfășurare posibile. Ea trebuie să indice în cele din urmă modul în care trebuie folosite substanța și energia pe care sistemele biologice le iau din mediul înconjurător, pentru a se putea ajunge la o anumită ordine. Desigur că dacă substanța și energia, pe care sistemele

biologice — în calitatea lor de sisteme disipative — le iau din mediul înconjurător, nu ar putea fi folosite decît într-un singur fel, care să conducă la o singură ordine posibilă, informația genetică ar fi inutilă. Cum însă ordinea sistemelor vii nu numai că nu este impusă din afară, dar nu este singura ordine posibilă, informația genetică este absolut necesară.

În sistemele vii informația este cu atît mai necesară cu cît ele îmbină într-un mod armonios și foarte eficace stabilitatea cu mobilitatea. Pentru a putea realiza acest lucru sistemele vii au apelat (pe lîngă legăturile covalente foarte puternice care punînd în funcțiune energii de 100—200 kcal/mol, leagă atomii în poziții foarte rigide, care nu pot fi schimbate fără a modifica substanța respectivă) și la legăturile slabe, de tipul legăturilor de hidrogen și a legăturilor van der Waals, care punînd în funcțiune energii de numai 2—8 kcal/mol, le oferă atomilor și moleculelor o mult mai mare libertate de mișcare (63).

Atunci cînd are nevoie de o stabilitate mai mare, așa cum se întîmplă în cazul micromoleculelor, pe care le folosește apoi drept cărămizi în construirea edificiului vieții, sistemele vii apelează la legăturile covalente, puternice și stabile. De aceea în construcția aminoacizilor, care reprezintă niște astfel de cărămizi, se folosesc legăturile covalente. Aminoacizii sînt caracterizați de faptul că au atît o grupare terminală acidă, reprezentată de COOH, cît și o grupare terminală bazică, reprezentată de NH_2. De aceea un aminoacid poate fi scris într-o formă simplificată:



Prin înlocuirea restului R cu un hidrogen se obține cel mai simplu aminoacid, glicina. Prin înlocuirea restului R cu CH_2— se obține fenilalanina. Prin înlocuirea restului R cu CH_2—  —OH se obține tirozina și așa mai departe. Toți aminoacizii au pe lîngă gruparea acidă și o grupare bazică reprezentată de NH_2. Evitînd o ordine precisă și rigidă, care presupune mai mult o reglare din afară

decît o autoreglare cu ajutorul unor mecanisme proprii, viața a ales și în acest caz o stare intermediară și ambiguă. Acest caracter amfoter le oferă aminoacizilor posibilitatea de a se lega între ei. Legătura dintre gruparea acidă COOH a unui aminoacid și gruparea bazică NH_2 a altui aminoacid este o legătură covalentă și se numește legătură peptidică, care se notează cu CO—NH. Prin legarea aminoacizilor între ei se pot obține lanțuri foarte lungi, care pot cuprinde uneori peste un milion de aminoacizi. Aceste lanțuri de aminoacizi se vor deosebi însă nu numai prin numărul de aminoacizi pe care îi înglobează, ci și prin locul, adică prin secvența lor în molecula de proteină. Același număr de aminoacizi pot fi aranjați în moduri foarte diferite și să dea naștere la molecule foarte diferite. Tocmai în posibilitatea aminoacizilor de a fi aranjați în diferite feluri constă libertatea și chiar necesitatea fiecărui sistem biologic de a-și alege din mulțimea secvențelor posibile secvențele sale proprii. Această alegere nu necesită un plus de substanță sau de energie, ci doar un plus de informație, care să specifice cum trebuie înșiruiți cei 20 de feluri de aminoacizi. De aceea pentru a putea sintetiza o moleculă proteică, sistemul biologic trebuie să dispună — pe lîngă aminoacizii necesari și energia necesară formării legăturilor peptidice — și de o informație care să-i indice modul în care trebuie să se succeadă aminoacizii în molecula respectivă.

Această informație, necesară sintezei proteinelor, nu o poate primi însă de la o altă proteină, deoarece, după cum arată J. D. Watson (195), grupările laterale ale aminoacizilor nu au afinitate între ele. Aminoacizii nu pot forma între ei acele legături slabe necesare în cazul unei matrițe, deoarece grupările lor nu numai că nu se atrag, ci chiar se resping.

Matrița care transmite informația genetică trebuie să fie însă tot o macromoleculă și să aibă o mărime asemănătoare cu a proteinei căreia îi dă naștere. Apoi această macromoleculă trebuie să poată forma legături slabe cu aminoacizii respectivi, pentru ca molecula sintetizată să se poată detașa de pe molecula care o sintetizează.

În afara macromoleculelor proteice care nu pot însă reprezenta matrița propriei lor sinteze, sistemele vii mai conțin și alte macromolecule, așa cum sînt acizii nucleici, care reprezintă 5% din substanța uscată a organismului.

Constatînd că un acid nucleic, și anume acidul dezoxiribonucleic, care se notează de obicei ADN, poate schimba caracterele ereditare ale pneumococului, O. T. Avery a descoperit în 1944 că macromolecula de ADN este purtătoare a informației ereditare.

Pentru a putea reprezenta matrița sintezei proteinelor, între elementele componente ale moleculei de ADN și succesiunea aminoacizilor din molecula proteică ar trebui să se stabilească o anumită corespondență. Macromolecula de ADN este formată dintr-o înșiruire a patru feluri de molecule, denumite dezoxinucleotide, și anume: dezoxiadenilat, dezoxiguanilat, dezoxitimidilat și dezoxicitidilat. Aceste dezoxinucleotide sînt formate la rîndul lor dintr-o moleculă de dezoxiriboză, care este un zahar, dintr-o grupare fosforică și dintr-o bază azotată, purinică (adenina, guanina) sau pirimidinică (timină, citozină). Deoarece dezoxiriboza și gruparea fosforică sînt aceleași la toate dezoxinucleotidele, acestea nu se vor deosebi decît prin baza azotată pe care o conțin (fig. 10). Dezoxinucleotidele se leagă apoi între ele, prin gruparea fosforică a unui nucleotid cu gruparea hidroxilică a altui nucleotid, dînd naștere la agregate liniare care nu diferă decît prin secvența bazelor azotate pe care le conțin. Tocmai în această secvență diferită a bazelor azotate se află înscrisă informația genetică (fig. 11).

Macromolecula de ADN are însă nu numai o formă filamentoasă, ci și o formă elicoidală, adică ea este răsucită

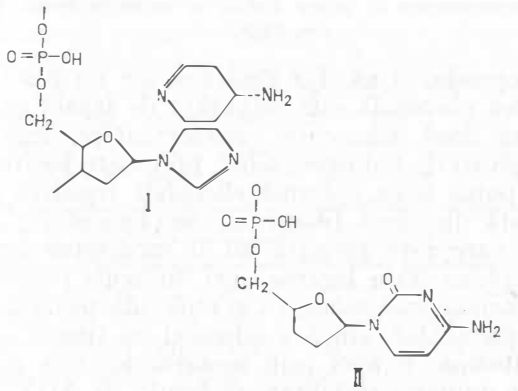


Fig. 10. Formula chimică a unor nucleotide: I acidul adenilic și II acidul citidilic, formate dintr-o moleculă de acid fosforic, o moleculă de dezoxiriboză și o bază azotată (adenina și respectiv citozina).

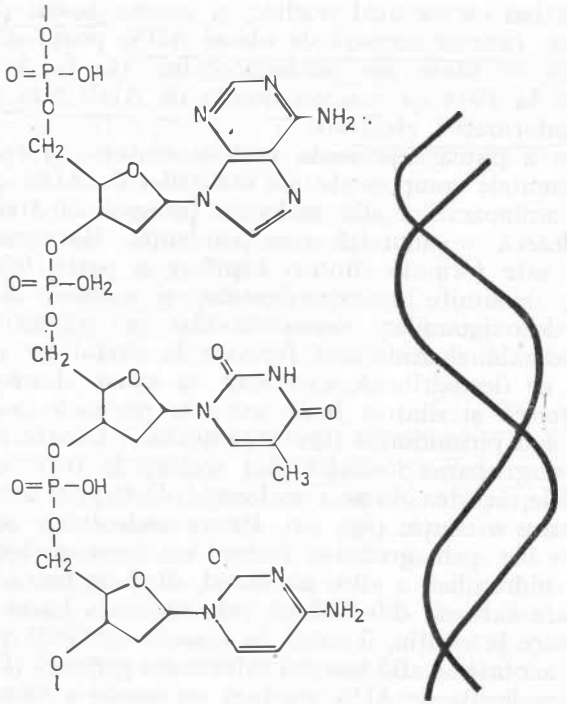


Fig. 11. Prin legarea mai multor nucleotide între ele se poate obține un filament de acid nucleic. Iar prin unirea cu ajutorul legăturilor slabe a două filamente complementare se poate obține o macromoleculă bicatenară de ADN.

în jurul propriului ei ax. Iar răsucirea are un pas de 34 Å. Regularitatea elicoidală este asigurată de faptul că ea este formată din două filamente complementare, legate între ele prin legături de hidrogen, adică prin niște legături slabe. Ea nu ar putea avea o formă elicoidală regulată dacă nu ar fi formată din două filamente complementare, deoarece bazele din care este formată au o succesiune neregulată și sînt hidrofobe. Prin legarea unei molecule purinice, care are o dimensiune mai mare, cu o moleculă pirimidinică din lanțul complementar, adică a adeninei cu timina și a guaninei cu citozina, și apoi prin așezarea lor una peste alta se asigură o anumită stabilitate moleculei de ADN (fig. 12).

În molecula de ADN nu există însă decît patru feluri de baze azotate care ar putea să specifice, sau mai bine zis

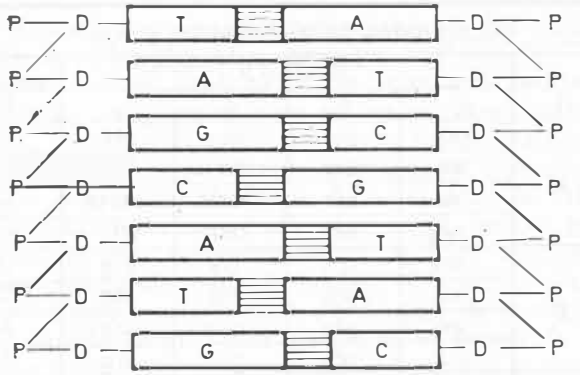


Fig. 12. Bazele azotate (adenina A, timina *T*, guanina *G* și citozina *C*) ale unui filament de ADN se leagă prin intermediul unor legături de hidrogen cu bazele azotate complementare ale celuilalt filament și se așază unele peste altele contribuind astfel la stabilitatea moleculei de ADN.

ar trebui să specifice succesiunea celor 20 de feluri de aminoacizi. De aceea o bază azotată nu va putea specifica un aminoacid. Nici un grup de două baze azotate nu va putea specifica un aminoacid, deoarece combinația a patru baze luate cîte două nu dă decît 16 variante posibile. Pentru specificarea unui aminoacid ar fi deci necesare grupuri de cîte trei baze azotate, deoarece combinația a patru baze luate cîte trei dă 64 de triplete posibile, chiar mai mult decît ar fi absolut necesar.

Cu ajutorul polinucleotidelor sintetice, obținute cu ajutorul polinucleotidfosforilazei, s-au descoperit treptat tripletele care corespund fiecărui aminoacid. Cu ajutorul uracil-polinucleotidului, spre exemplu, care conține o singură bază azotată, și anume uracilul (care înlocuiește timina în molecula unui alt acid nucleic, și anume în acidul ribonucleic sau ARN), un colectiv de cercetători condus de N. W. Nirenberg a descoperit în 1961 că tripletul UUU codifică aminoacidul fenilalanină. Cu ajutorul copolimerului uracil-citozină s-a descoperit apoi că tripletele UUC și UCC codifică leucina. Și tot așa prin cercetări foarte minuțioase s-a descoperit treptat semnificația tuturor celor 64 de triplete, descifrîndu-se astfel codul genetic (fig. 13).

S-a constatat, după cum se vede în cazul leucinei, spre exemplu, că același aminoacid este codificat de mai multe triplete, ceea ce înseamnă că codul genetic este degenerat.

Succesiunea bazelor azotate în triplete					
poziția I	poziția II				poziția III
	U	C	A	G	
U	fen	ser	tir	cis	U
	fen	ser	tir	cis	C
	leu	ser	term	term	A
	leu	ser	term	tri	G
C	leu	pro	his	arg	U
	leu	pro	his	arg	C
	leu	pro	glun	arg	A
	leu	pro	glun	arg	G
A	ileu	tre	aspn	ser	U
	ileu	tre	aspn	ser	C
	ileu	tre	lis	arg	A
	met	tre	lis	arg	G
G	val	ala	asp	gli	U
	val	ala	asp	gli	C
	val	ala	glu	gli	A
	val	ala	glu	gli	G

Fig. 13. Tabelul codului genetic (după J. Watson). Cu litere mari sînt notate bazele azotate (adenina *A*, citozina *C*, guanina *G*, uracilul *U*), iar cu litere mici sînt notate aminoacizii (alanină-ala, arginină-arg, asparagină aspn, acid aspartic-asp, cisteină-cis, acid glutamic-glu, glutamină-glun, histamină-his, leucină-leu, izoleucină-ileu, lizină-liz, metionină-met, fenilalanină-fen, prolină-prol, serină-ser, treonină-tre, triptofan-tri, tirozină-tir, valină-val). Unele triplete nu specifică nici un aminoacid, ci terminarea (term) lanțului de aminoacizi.

Dar pentru că numai anumite triplete codifică un aminoacid, codul genetic este logic degenerat.

Dar deși ADN-ul îndeplinește toate condițiile pentru a reprezenta matrița după care se sintetizează proteinele, el nu poate îndeplini direct acest rol, deoarece ADN-ul se află în nucleul celulei (de unde și denumirea de acid nucleic), iar proteinele se sintetizează în citoplasmă.

De aceea, ADN-ul va trebui să transmită, printr-un proces de transcripție, informația privind succesiunea aminoacizilor din molecula de proteină unei alte molecule care să o transporte în citoplasmă. Această moleculă care transmite informația genetică din nucleu în citoplasmă este tot un acid nucleic, care în loc de dezoxiriboză conține riboză

și de aceea se numește acid ribonucleic sau ARN. Iar acidul ribonucleic care transmite informația genetică din nucleu în citoplasmă se numește ARN mesager (ARNm).

Problema sintezei proteinelor s-a complicat însă atunci cînd s-a constatat că aminoacizii nu au nici o afinitate față de ARNm. Pentru a fi posibilă legarea lor de ARNm este necesar un adaptor, o substanță intermediară, care să poată lega fiecare din cei 20 de feluri de aminoacizi de ARNm. Această substanță intermediară care leagă fiecare aminoacid de ARNm este reprezentată tot de niște molecule de acid nucleic, denumit acid ribonucleic de transfer (ARNt). ARN-ul de transfer este format din lanțuri de aproximativ 80 de nucleotide, lanțuri care se pliază în formă de trifoi. Pe una din trefle ARNt are anticodonul capabil să citească, adică să recunoască și să se lege cu codonul, adică cu tripletul de pe ARNm, corespunzător aminoacidului pe care ARNt l-a legat covalent de coada tripletului său (fig. 14).

ARNm aduce informația genetică din nucleu în citoplasmă, sau mai exact la ribozomi, cunoscuți și sub numele de corpusculii lui Palade, după numele celui care i-a descoperit. Ribozomii sînt niște formațiuni granulare răspîndite în citoplasmă sau dispuse de-a lungul reticulului endoplasmatic. Ribozomii se pot înlănțui de-a lungul unei molecule de ARNm, formînd poliribozomii. ARNt are rolul de a aduce aminoacizii corespunzători, în ordinea codonilor de pe molecula de ARNm pentru a putea fi legați între ei prin legături covalente polipeptidice, cu ajutorul unei enzime denumite peptidiltransferaza.

Printr-un proces de transcripție, informația genetică trece deci de la ADN la ARNm. Iar printr-un proces de traducere ea trece de la ARNm la proteine. Mult timp această circulație în sens unic a informației genetice a fost considerată ca unica circulație posibilă. H. M. Temin, D. Baltimore și R. Dulbecco au sfărîmat această dogmă demonstrînd că informația genetică poate să circule și de la ARN la ADN, în prezența unei enzime denumite reverstranscriptază.

Transmiterea informației genetice din nucleu la ribozomi se face cu scopul de a coordona mecanismele de reglare care actionează asupra materiei prime de care dispune celula, pentru a o organiza într-o anumită ordine specifică celulei respective. Dar pentru că celula se autoreglează, ea își controlează și circulația informației genetice. Celulele conțin o cantitate foarte mare de informație genetică, apreciată

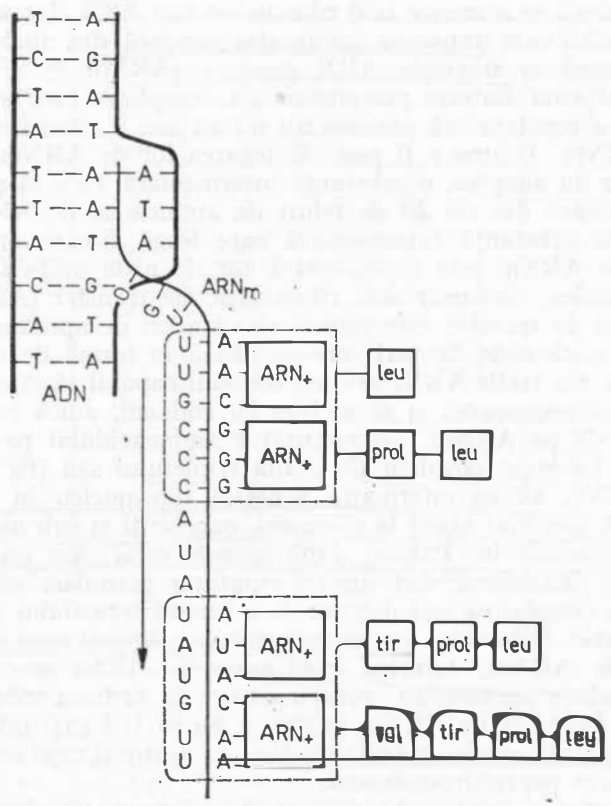


Fig. 14. Reprezentarea schematică a sintezei proteice, prin transmiterea informației de la ADN la ARNm și apoi la lanțul de aminoacizi, care sînt asamblați în proteine la nivelul ribozomilor.

de H. Zemanek la circa un milion de biți. Deși nu actualizează decît aproximativ 2% din informația pe care o conțin, celulele reușesc să-și crească conținutul informațional la aproximativ 10^{12} biți, deoarece sinteza proteică înseamnă și creație de informație structurală. Iar în timpul sintezei proteice celulele își sporesc cantitatea de informație structurală cu cel puțin 10^3 biți pe secundă.

Dar după ce omul a descoperit codul genetic și mecanismele lui de funcționare s-a declanșat o adevărată aventură a geneticii (75). Deși J. Monod credea, nu mai departe decît prin 1970, că universul genetic este inaccesibil intervențiilor noastre, homo ciberneticus a pus bazele unei inginerii genetice în plină dezvoltare. G. H. Khorana a sintetizat prima genă. Apoi s-au sintetizat genele care controlează producerea angiotensinei, a tirozinei, a somatostazinei și a insulinei. Iar descoperirea acestor gene are o importanță deosebită, deoarece pentru izolarea unui miligram de somatostazină, spre exemplu, care este produs în cantități infime de sistemele biologice, sînt necesare cîteva sute de mii de animale. Prin transferul genei respective, cu ajutorul plasmidelor, în celulele de *Escherichia coli* se pot obține mult mai ușor cantități mult mai mari de somatostazină.

Deși ingineria genetică presupune și ea anumite riscuri, comparabile cu cele care există în fizica nucleară, spre exemplu, homo ciberneticus va găsi, desigur, resursele tehnice și morale pentru a le putea depăși și pentru a rezolva pe această cale multe boli care astăzi sînt incurabile.

CAPITOLUL IX

REGLAREA INTRACELULARĂ

Procesul de sinteză a proteinelor face din celulă un adevărat perpetuum mobile de tip informațional, capabil să-și crească negentropia cu cel puțin 10^3 biți pe secundă. Cînd a acumulat o anumită cantitate de negentropie, ea se divide, înmulțind cu doi ordinea cîștigată și așa mai departe, într-un ciclu care se repetă de peste trei miliarde de ani. În acest timp celula a evoluat. Au apărut organismele pluricelulare. Dar celula a continuat să rămînă unitatea morfofuncțională a vieții.

Toate țesuturile și toate organele sînt alcătuite din celule. Deși celulele diferitelor țesuturi și organe pot avea forme foarte diferite, celula musculară deosebindu-se, spre exemplu, de celula nervoasă, sau de hematie, care nu are nucleu, unei celule i se pot descrie totuși trei părți principale: nucleul citoplasma și membrana celulară.

Nucleul, ale cărui dimensiuni pot varia între 4 și 200 de microni, este așezat de obicei în centrul celulei. Nucleul este alcătuit, la rîndul său, din carioplasmă, unul sau mai mulți nucleoli, și o membrană nucleară. Nucleul conține aproximativ 50—80% apă. El mai conține substanțe organice, dintre care cele mai importante sînt, desigur, acizii nucleici, apoi niște proteine bazice, cum sînt histonele, care se leagă de ADN, niște proteine acide, care se leagă mai ales de ARN și bineînțeles un bogat echipament enzimatic care catalizează complicatul proces de duplicare a ADN-ului și de transcripție a informației genetice de pe ADN pe ARNm.

Carioplasma este o soluție de cromatină nucleară. Cromatina este formată din acizi nucleici și proteine. În timpul diviziunii celulare cromatina se organizează sub formă de cromozomi. Cromozomii au forma unor bastonașe, formate

din două filamente, paralele și alipite, care se numesc cromatide. Numărul și forma cromozomilor sînt caracteristice fiecărei specii. Celulele somatice ale omului au 23 de perechi de cromozomi.

Citoplasma, cuprinsă între membrană și nucleu, conține 70% apă, iar restul săruri minerale și substanțe organice. Din cele peste 100 de elemente, citoplasma conține 60 de elemente chimice, din care unele se găsesc în cantitate extrem de mică. Dintre substanțele organice, pe lîngă glucide și lipide, citoplasma mai conține și o mare cantitate de proteine, care au o structură caracteristică fiecărui organism și chiar fiecărei celule.

Citoplasma celulei este formată dintr-o matrice citoplasmatică reprezentată de substanța fundamentală, de organitele celulare și de incluziunile citoplasmatice.

Organitele celulare sînt niște structuri subcelulare răspîndite în substanța fundamentală și care îndeplinesc anumite funcții celulare (fig. 15). Printre cele mai importante organite enumerăm: reticulul endoplasmatic care este un sistem vascular de o mare diversitate și plasticitate, avînd rolul de a transporta diferite substanțe și de a reprezenta un suport pentru ribozomi; mitocondriile care se găsesc în toate celulele fiind mai răspîndite în celulele care au un metabolism mai activ. Rolul lor este de a asigura oxidarea substanțelor energetice, furnizînd astfel energia necesară

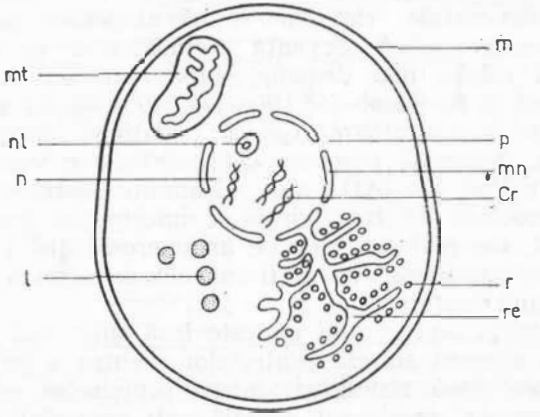


Fig. 15. Reprezentarea schematică a unei celule (*m*-membrana, *p*-por nuclear, *mn*-membrana nucleară, *n*-nucleu, *nl*-nucleol, *cr*-cromozomi, *re*-reticul endoplasmatic, *r*-ribozomi, *mt*-mitocondrie, *l*-lizozomi).

reacțiilor metabolice; lizozomii care asigură cu bagajul lor enzimatic digestia diferitelor substanțe dinăuntrul sau din afara celulei.

La periferia citoplasmei se găsește o zonă de condensare citoplasmatică, care o delimitează de mediul înconjurător. Zona aceasta de condensare, denumită membrană, este formată mai ales din lipide și proteine dispuse în trei straturi; unul mijlociu format mai ales din lipide sau mai exact din fosfolipide și din alte două straturi formate mai ales din proteine. Membrana celulară are o permeabilitate selectivă. Permeabilitatea față de ionii de K este de 100 de ori mai mare decît permeabilitatea față de ionii de Na. De aceea, în lichidul intracelular predomină ionul de Na. Diferența de concentrație ionică dintre cele două sectoare, intra- și extracelular, determină apariția unei diferențe de potențial de aproximativ —90 mV.

Toate organitele celulare conțin proteine care au pe lîngă rolul structural și un rol enzimatic. Proteinele pe care le conține sînt produse chiar de către celulă, și în cantitatea necesară. Celula nu fabrică deci toate proteinele în aceeași cantitate. Ea poate să fabrice foarte multe feluri de proteine. Dar nu le fabrică pe toate deodată, ci în funcție de nevoi. Aceasta înseamnă că pe lîngă informația genetică ce determină structura proteinelor, celula mai dispune și de mecanismele de reglare care controlează felul și cantitatea proteinelor care trebuie sintetizate. De aceea pe lîngă genele structurale, care determină structura particulară a proteinelor, adică secvența aminoacizilor în moleculă, genomul celulei mai dispune, după cum au demonstrat J. Monod și F. Jacob (55, 90, 179, 195), și de niște gene reglatoare și operatoare. Genele reglatoare sintetizează o proteină, denumită represor, care putîndu-se lega de anumite porțiuni ale ADN-ului, denumite operatori, poate bloca procesul de transcripție a informației genetice de pe ADN, sau mai exact de pe un operon capabil să sintetizeze niște proteine, cum ar fi enzimele ce intervin în degradarea unui metabolit.

Existența represorului nu este însă suficientă pentru a se regla adecvat sinteza proteinelor. Pentru a putea bloca și debloca după necesități sinteza proteinelor enzimatice, spre exemplu, represorul se află sub controlul metabolitului, adică al substanței pe care enzima respectivă trebuie să o metabolizeze. Inactivînd represorul, metabolitul respectiv va determina creșterea producției enzimei care intervine în metabolizarea lui. De aceea metabolitul respectiv poate fi denumit inductor. Produsul final, la care se ajunge prin transformările chimice catalizate de enzima respectivă, va activa represorul blocînd deci sinteza în continuare a enzimei, a cărei activitate duce la apariția lui. Prin intermediul acestui *feed-back* negativ care se stabilește între mesajul genetic și propriii săi produși, celula reușește să-și regleze producția de proteine în funcție de nevoi (fig. 16).

Pentru a putea bloca sinteza unei proteine, represorul activat nu se leagă de operonul care o sintetizează, ci de gena operatoare, foarte aproape de locul unde se leagă ARN-polimeraza și începe transcripția informației genetice de pe ADN pe ARNm, adică de locul denumit promotor.

Dacă gena operatoare lipsește, atunci represorul nu va putea bloca niciodată corepresorul respectiv, iar proteina corespunzătoare se va produce în cantitate maximă.

Fiind activat de corepresori și inactivat de inductori, represorul poate adapta sinteza proteică în funcție de necesitățile foarte variabile. Iar timpul de latență al acestui mecanism este foarte scurt, deoarece ARNm are o viață foarte scurtă, de 1—2 minute. Așa încît pusă într-un alt mediu, unde se găsește un alt metabolit, spre exemplu galactoză în loc de glucoză, celula va putea sista rapid producerea de hexokinază, sau mai exact de hexokinază de tip IV denumită și glucokinază, care este necesară metabolizării glu-

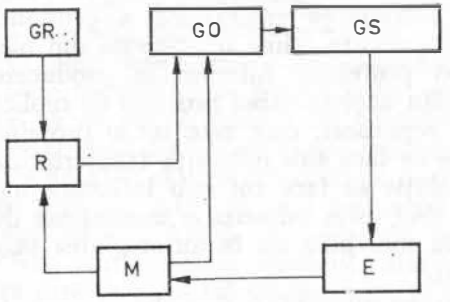


Fig. 16. Reglarea sintezei de proteine și de enzime *E* se face prin intermediul unei gene reglatoare *GR*. Aceasta sintetizează un represor *R* care inhibă gena operatoare *GO*, care controlează genele structurale *GS*. Apariția unui metabolit *M* care poate inhiba activitatea represorului va putea stimula genele operatoare și prin intermediul lor, genele structurale să sintetizeze proteinele capabile să acționeze enzimatic asupra metabolitului *M*.

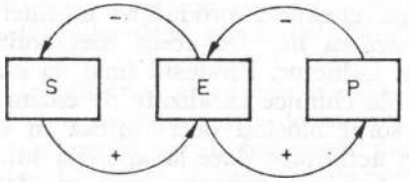


Fig. 17. Între substratul *S* și enzima capabilă să-l metabolizeze *E*, precum și între enzima *E* și produsul final *P* există niște circuite de *feed-back*. Creșterea substratului stimulează activitatea enzimatică, iar creșterea produsului final inhibă activitatea enzimatică, contribuind astfel la păstrarea unui anumit echilibru.

cozei și va produce în continuare beta-galactozidază, necesară metabolizării galactozei.

Acest proces nu este însă singurul mijloc de reglare a sintezei proteinelor, deoarece activitatea enzimelor care intervin în procesele de transcripție, translație și traducere este influențată, după cum arată J. D. Watson (195), de către proteinele pe care le produc. Creșterea produsului final inhibă printr-un mecanism de *feed-back* negativ activitatea enzimatică (fig. 17).

În autoreglarea proceselor intracelulare intervin foarte multe mecanisme de *feed-back*. În afara mecanismului de *feed-back* dintre represor și inductor și a celui dintre produsul final și activitatea enzimatică, în celulă mai există foarte multe mecanisme de *feed-back* care participă la autoreglarea proceselor intracelulare. Așa spre exemplu, proteinele iau naștere din aminoacizi care, la rîndul lor, iau naștere prin activitatea enzimatică a proteinelor asupra materiei prime pe care celula o primește din mediul înconjurător. Astfel proteinele intervin în producerea moleculelor din care iau naștere. Apoi procesul de replicație se face sub influența replicazei, care este tot o proteină. Procesul de transcripție se face sub influența transcriptazei, iar procesul de translație se face tot sub influența unor enzime, care intervin deci, prin numeroase mecanisme de *feed-back*, în reglarea sau mai bine zis în autoreglarea propriilor sinteze (fig. 18).

Pentru sinteza unor produși biologici cu entropie mică și negentropie mare, așa cum sînt proteinele, este nevoie deci nu numai de un transfer de informație de la ADN la ribozomii care sintetizează proteinele, ci și de un control al acestui transfer. Desigur, însă, că nici transmiterea și

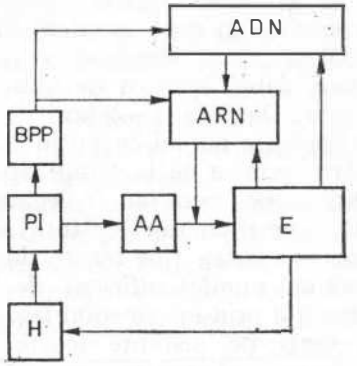


Fig. 18. Mecanismele de *feed-back* intracelular în care enzimele *E* acționează asupra substanțelor din hrană *H*, pe care le transformă în produși intermediari *PI*, din care vor lua naștere aminoacizii *AA*, precum și bazele purinice și pirimidinice *BPP*, care intră în compoziția acizilor nucleici *ADN* și *ARN*. Acționînd asupra sintezei de *ARN* și de *ADN*, precum și asupra procesului de transcripție și translație, ele acționează prin intermediul unor mecanisme de *feed-back* asupra propriei lor sinteze.

nici controlul transmiterii informației genetice nu s-ar putea face dacă nu ar exista o anumită libertate de mișcare. Dacă moleculele și macromoleculele ar fi rigid și strîns legate între ele, transferul de informație ar fi foarte greu, dacă nu chiar imposibil de efectuat. De aceea viața nu poate exista decît în mediul lichid în care să fie posibilă o anumită libertate de mișcare și în prezența legăturilor chimice slabe care să permită unirea și desfacerea moleculelor în cadrul mișcării termice. Pentru a putea da naștere unei noi molecule de ADN, aceasta trebuie să se poată desface ușor de pe matrița pe care s-au format. Tot așa ARNm, pentru a putea transporta informația genetică din nucleu la ribozomi, trebuie să se poată desface de pe ADN-ul care i-a servit ca matriță și să ajungă în citoplasmă. Pentru ca cele două filamente de ADN să se poată desface, pentru ca ARNm să poată pleca de pe ADN-ul care i-a servit ca matriță, pentru ca anticodonul ARNt să se poată desface de pe codonul ARNm, sînt necesare legăturile slabe, adică legăturile chimice care să se poată desface ușor la temperaturile obișnuite. De aceea în sistemele biologice, pe lîngă legăturile puternice, sînt necesare și legăturile slabe. Între nucleotide care formează coloana vertebrală a acizilor nucleici, ca și între amonoacizi care formează coloana vertebrală

a proteinelor, se stabilesc legături puternice, covalente, care nu se pot desface în mod spontan. Între adenina unui filament de ADN și timina filamentului paralel există însă niște legături mai slabe, legături de hidrogen, care se pot desface foarte ușor. Dar cele 1—2 kcal pe mol ale legăturii van der Waals depășesc numai cu puțin energia de 0,6 kcal pe mol a mișcării termice de la temperatura de 25°C. Nici celelalte legături slabe, cum ar fi legătura de hidrogen, cu cele 2—8 kcal pe mol, sau legătura ionică, cu cele 10 kcal pe mol, nu vor putea ține legate două molecule dacă nu intervin într-un număr suficient de mare. De aceea pentru a se putea uni prin intermediul legăturilor slabe, care nu acționează decît pe distanțe foarte mici, moleculele trebuie să aibă o configurație spațială complementară. Forma aceasta complementară reprezintă tocmai informația structurală a moleculei, care reușește să-și aleagă astfel molecula cu care trebuie să reacționeze. Pe informația structurală a ADN-ului se mulează, sau mai bine zis se formează cu ajutorul legăturilor slabe, molecula de ARNm, care copiază astfel informația structurală a ADN-ului respectiv, pe care apoi îl părăsește. Pe codonul ARNm se mulează apoi anticodonul ARNt respectiv. Astfel ia naștere în cele din urmă o moleculă de proteină, care avînd și ea o informație structurală poate stabili și ea niște legături slabe cu o altă moleculă, pe care o va putea recunoaște și alege din mulțimea tuturor celorlalte molecule, așa cum face de fapt fiecare enzimă. Dacă ceva îi va schimba forma, ea nu va mai putea stabili legături slabe cu molecula respectivă pentru a forma complexul substrat-enzimă. De obicei, chiar produsul final al reacției enzimatice reușește să schimbe configurația spațială a enzimei și să inhibe astfel, printr-un *feed-beack* negativ, reacția enzimatică. În felul acesta sinteza produsului final se poate adapta necesităților variabile ale celulei, deoarece nu se va produce mai mult produs final decît se consumă.

Sinteza proteinelor nu ar fi posibilă fără legăturile slabe. Legăturile slabe oferă acea libertate de mișcare mecanismelor de reglare. Spre deosebire de sistemele electronice, organismele vii transmit informația prin niște semnale mult mai mari decît electronii, adică prin niște molecule de ADN și de ARN care sînt infinit mai mari decît electro-

nii. De aceea pentru a avea libertatea de mișcare necesară transmiterii informațiilor este necesar un mediu lichid și intervenția legăturilor slabe. Legăturile slabe le oferă posibilitatea de alegere a unei anumite ordini din mulțimea ordinilor posibile. Ordinea aleasă cu ajutorul legăturilor slabe este apoi fixată cu ajutorul legăturilor puternice, covalente, dintre aminoacizi.

Pentru a-și putea crește ordinea, adică pentru a putea sintetiza compuși complecși cu entropie mică, așa cum sînt proteinele, informația de care au nevoie sistemele vii trebuie să stabilească nu numai modul în care trebuie folosită substanța, ci și modul în care trebuie folosită energia de care dispun.

Pentru a-și putea menține și chiar crește ordinea, în condițiile celui de-al doilea principiu al termodinamicii, sistemele vii trebuie să cupleze reacțiile de degradare, care nu contravin acestui principiu, cu reacțiile de sinteză, care în aparență contravin celui de-al doilea principiu, dar care în realitate nu fac altceva decît să utilizeze o posibilitate pe care acesta nu a exclus-o cu desăvîrșire. Cel de-al doilea principiu al termodinamicii tinde să crească entropia, adică dezordinea sistemului. Dar el nu limitează frontierele sistemului respectiv. De aceea sistemele care vor forma niște sisteme mai mari împreună cu alte elemente din mediul înconjurător își vor putea reduce entropia pe seama elementelor cu care s-au asociat și a căror entropie va crește în mod compensator. La acest mijloc au recurs sistemele biologice care formează un sistem mai mare împreună cu mediul înconjurător a cărui entropie va crește pe măsura scăderii entropiei sistemelor pe care le conține. La acest mijloc au recurs și mecanismele de reglare intracelulară care au cuplat reacțiile de sinteză cu reacțiile de degradare. Așa spre exemplu, reacția de degradare a glucozei în compuși cu entropie din ce în ce mai mare, pînă la apă și bioxid de carbon, care sînt eliminați apoi în mediul extern, este cuplată cu reacțiile de sinteză a proteinelor și astfel, în timp ce glucoza își scade entropia, proteinele și-o cresc. Aceasta l-a făcut pe E. Schrödinger (174) să spună că organismele vii se hrănesc cu negentropie, adică cu ordinea pe care o iau din alimente. Prin obținerea unor produși cu entropie din ce în ce mai mare, în timpul degradării glucozei, se eliberează o anumită cantitate de energie care este oferită mai întîi unor compuși macroergici intermediari. Acești

compuşi macroergici se găsesc la toate plantele şi la toate animalele care, direct sau indirect, folosesc în ultimă instanţă energia solară, căci în zahărul, în carnea sau în pîinea pe care le mîncăm este înmagazinată de fapt energia solară.

Fotonul care cade pe molecula de clorofilă a plantelor, care au capacitatea de a folosi direct energia solară, aduce molecula de clorofilă într-o stare de excitaţie. Această stare de excitaţie durează foarte puţin, aproximativ o miliardime de secundă, deoarece clorofila cedează rapid electronul excitat altor substanţe şi acestea altora, ca un slab curent de electroni, care după cum remarcă A. Szent-Gyorgyi, întreţine viaţa. Pe măsură ce acest curent de electroni trece de la o substanţă la alta, se sintetizează un compus capabil să înmagazineze energia pe care electronul o cedează. Acest compus este acidul adenozintrifosforic sau ATP. ATP-ul, prezent în toate celule vii, ia naştere prin adăugarea unor molecule de fosfat la molecula de acid adenozindifosforic, sau ADP. Prin această fosforilare, adică prin trecerea ADP în ATP, energia solară este transformată în energie chimică. ATP-ul care ia naştere în procesul de fotosinteză este o substanţă cu o stabilitate redusă putîndu-se desface din nou în ADP şi fosfat cu eliberarea energiei pe care a înmagazinat-o. Această energie este folosită de către plante la sinteza, din apă şi bioxid de carbon, a unor molecule organice, cum ar fi glucoza, fructoza, amidonul şi altele. Aceste substanţe vor reprezenta apoi hrana animalelor care nu posedă capacitatea de fotosinteză (fig. 19).

În celulele animalelor glucoza este degradată, este oxidată, ajungîndu-se din nou la bioxid de carbon şi apă. Majoritatea oxidărilor au loc însă în absenţa oxigenului şi sînt de fapt nişte hidrogenări. Hidrogenul luat de la o moleculă este transferat altei molecule, care este astfel redusă (de aceea reacţiilor de oxidare li se spune reacţii de oxido-reducere), pînă cînd în cele din urmă oxigenul ajunge în prezenţa hidrogenului cu care formează apa.

Procesul de degradare a glucozei se desfăşoară mai întîi anaerob ca un proces de glicoliză, care duce la formarea de acid piruvic. Acidul piruvic rezultat din procesul de glicoliză poate suferi în continuare diferite transformări. De aceea este denumit piatra turnantă a metabolismului. El se poate reduce, spre exemplu, în acid lactic. Cea mai însemnată transformare este însă decarboxilarea oxidativă, la care participă coenzima A şi dehidrogenaza. Acetil -coenzima

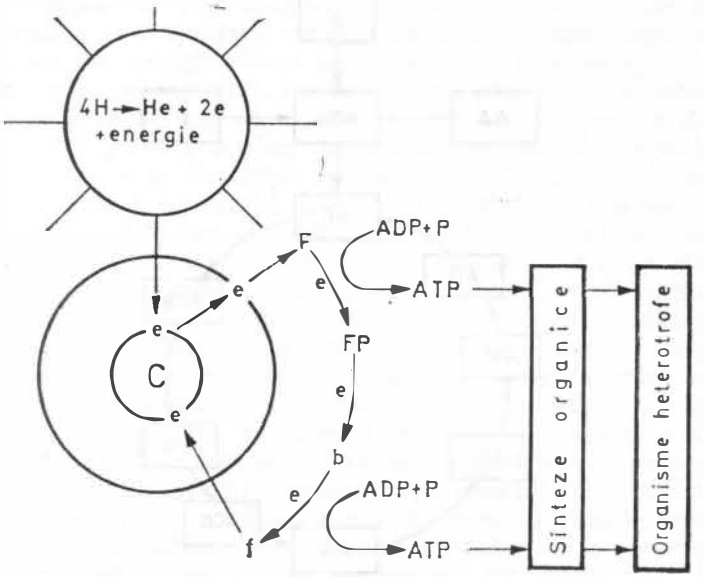


Fig. 19. Reprezentarea schematică a procesului de fotofosforilare ciclică. Energia solară, transportată de fotoni, excită un electron *e* care părăseşte molecula de clorofilă *C* şi ajunge pe un lanţ de transportori de electroni, aşa cum sînt feredoxina *F*, flavoproteina *FP* şi citocromii *b* şi *f*. La fiecare transfer electronul cedează o parte din energia acumulată care va fi depozitată în molecula de *ATP*, adică de acid adenozintrifosforic, care ia naştere. *ATP*-ul este apoi folosit la sinteza moleculelor organice de către plantele care folosesc ca hrană organismelor heterotrofe.

A care rezultă din această transformare intră în ciclul acidului citric sau în ciclul lui Krebs (fig. 20). Acest ciclu se desfăşoară de două ori pentru fiecare moleculă de glucoză din care rezultă două molecule de acid piruvic. Nici în ciclul lui Krebs oxidarea nu se produce direct, ci tot printr-o serie de hidrogenări şi dehidrogenări succesive.

Reacţiile de oxidoreducere sînt cuplate cu formarea de ATP. Trecerea unei perechi de atomi de hidrogen de pe o substanţă pe alta dă naştere la trei molecule de ATP. Astfel, energia substanţelor nutritive este eliberată şi acumulată în trepte evitînd tulburările pe care le-ar putea produce eliberarea ei bruscă.

Fotosinteza a dus deci la formarea de ATP, a cărui energie este folosită de plante pentru sinteza unor molecule organice. Degradarea acestor molecule de către sistemele

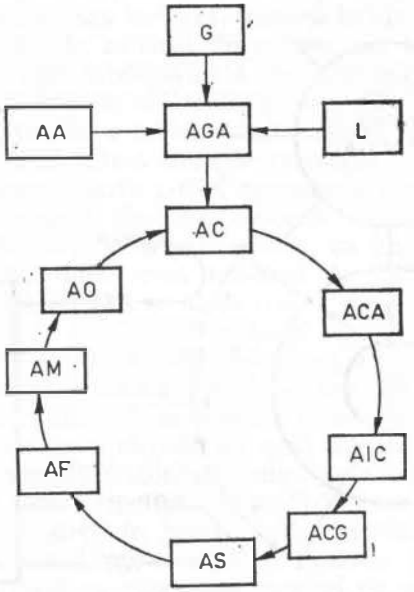


Fig. 20. Ciclul lui Krebs, sau ciclul acidului citric, în care acetil-Coenzima A, sau *ACoA*, care rezultă din degradarea glucidelor *G*, a lipidelor *L* și a aminoacizilor *AA*, este supusă unor oxidări succesive pînă la bioxid de carbon și apă (*AC*-acid acetic, *ACA*-acid cis-aconitic, *AIC*-acid izocitric, *ACG*-acid alfa-cetoglutaric, *AS*-acid succinic, *AF*-acid fumaric, *AM*-acid malic, *AO*-acid oxalacetic).

heterotrofe duce din nou la formarea de ATP care devine astfel un fel de monedă universală a energiei, atît la plante cît și la animale. Procesul de degradare a substanțelor organice, care se desfășoară conform celui de-al doilea principiu al termodinamicii, este cuplat cu procesul de formare a ATP-ului. El acumulează energia care se pierde sau mai bine zis s-ar pierde prin degradarea substanțelor organice, tot așa cum, spre exemplu, acumulatorul acumulează energia electrică pe care o poate ceda mai tîrziu. Prin aceasta nu se încalcă cel de-al doilea principiu, dar se utilizează acea posibilitate a unui sistem de a-și reduce entropia pe seama altor sisteme, cu care a format un sistem comun, dar care își vor crește entropia. Cel de-al doilea principiu tinde să aducă sistemele într-o stare de echilibru termodinamic, care este atins atunci cînd entropia devine maximă iar energia liberă devine minimă. Adică, în timp ce tinde să crească

dezordinea tinde să scadă și energia liberă a sistemului. De aceea reacțiile chimice tind să se desfășoare în mod spontan spre compuși chimici din ce în ce mai puțin complecși, cu entropie din ce în ce mai mare și cu energie liberă din ce în ce mai mică. Iar dacă celula reușește să sintetizeze produși complecși cu entropie mică, acest lucru se datorează cuplării reacțiilor de sinteză cu cele de degradare, care le pun la dispoziție energia necesară. Sinteza se desfășoară astfel pe seama degradării. Pentru a înțelege mai bine modul în care reacțiile de sinteză, care tind să crească ordinea, se desfășoară de fapt pe seama celui de-al doilea principiu al termodinamicii, care tinde să scadă ordinea, ar fi suficient să arătăm că dacă într-o soluție omogenă se creează o diferență de temperatură va apărea un transport de energie care va căuta să reegalizeze temperaturile. Transportul de energie nu se va putea însă face fără un transport de substanță care, egalizînd temperaturile, va crea o diferență de concentrație. Și în organismul uman se petrec foarte multe cuplări asemănătoare. Reacțiile care au nevoie de energie sînt cuplate cu reacțiile care eliberează energie. Pentru formarea unei legături peptidice, spre exemplu, adică pentru legarea a doi aminoacizi, sînt neecesare 0,5 kcal pe mol. Această energie este oferită de ATP, care a înmagazinat-o în timpul catabolismului. Cele două reacții, de sinteză a proteinelor și de desfacere a ATP-ului în ADP plus fosfat, cu eliberare de energie, se petrec simultan. Aminoacidul AA este mai întîi activat, adică legat printr-o legătură macroergică de AMP, care este o moleculă de adenozinmonofosfat, ce ia naștere din desfacerea ATP-ului în ADP și AMP. Adică.

$$AA + ATP \longrightarrow AA \sim AMP + ADP.$$

Apoi aminoacidul este trecut pe un ARNt:

$$AA \sim AMP + ARNt \longrightarrow AA \sim ARNt + AMP.$$

Iar ARNt îl trece la rîndul său unui alt aminoacid:

$$AA \sim ARNt + AA - AA \longrightarrow AA - AA - AA + ARNt.$$

Din cele 7 kcal pe mol pe care ATP-ul le eliberează prin desfacerea lui în ADP și AMP, reacția de sinteză a proteinelor nu consumă decît 0,5 kcal pe mol. Astfel se respectă întocmai cel de-al doilea principiu al termodinamicii, deoa-

rece energia liberă a reacţiei cuplate realizează o scădere de 6,5 kcal pe mol.

Deşi conduc la scăderea entropiei, reacţiile de sinteză se desfăşoară deci tot pe seama celui de-al doilea principiu al termodinamicii. Ele sînt în situaţia călătorului dintr-un vehicul, care se poate deplasa şi în sens contrar vehiculului în care se află. Şi întreaga lume vie se deplasează în sens contrar celui de-al doilea principiu al termodinamicii. Pentru aceasta ea a trebuit să apeleze însă la o serie întreagă de mijloace şi de mecanisme de reglare extrem de ingenioase şi de subtile.

CAPITOLUL X

REGLAREA INTERCELULARĂ

În cele 3,7 miliarde de ani, care au trecut de la apariţia vieţii pe Pămînt, sistemele vii au evoluat continuu şi de la organismele monocelulare, formate dintr-o singură celulă, cum ar fi bacteriile, s-a ajuns la organisme pluricelulare, alcătuite dintr-un foarte mare număr de celule, specializate, care cooperează între ele pentru a-şi menţine identitatea lor şi în acelaşi timp a întregului sistem biologic. Organismul uman este format, după cum arată J. D. Watson (195), din aproximativ 5×10^{12} celule, de peste 150 de tipuri (musculare, nervoase, conjunctive, osoase, sanguine etc.).

Organismele pluricelulare iau naştere însă tot dintr-o singură celulă, celula ou, care a luat şi ea naştere la rîndul ei din două celule sexuale specializate în transmiterea informaţiilor genetice. Pentru a se ajunge la celulele sexuale este necesară o diviziune reducţională care să reducă la jumătate numărul de cromozomi, care sînt dispuşi de obicei în perechi. Celulele umane dispun de 23 de perechi de cromozomi. 22 de perechi sînt cromozomi autosomi, iar o pereche sînt cromozomi sexuali. La sexul feminin cei doi cromozomi sexuali sînt omologi şi au fost denumiţi XX. La sexul masculin ei nu sînt omologi şi au fost denumiţi XY. Dacă o celulă va conţine doi cromozomi X, atunci ea va fi de sex genetic feminin, iar dacă va conţine un cromozom X şi unul Y, ea va fi de sex genetic masculin. În cursul diviziunii reducţionale, care duce la formarea celulelor sexuale, se ajunge de la celulele diploide cu 23 de perechi de cromozomi, la celulele haploide cu 23 de cromozomi, neperechi. Celulele sexuale au deci cîte 22 cromozomi autosomi neperechi şi cîte un cromozom sexual, care va putea fi sau X sau Y. La celula sexuală feminină, denumită ovul, acest cromozom

sexual nu poate fi decît X, deoarece reducerea la jumătate a celor doi comozomi sexuali XX nu poate duce decît la un cromozom X. La celula sexuală masculină, denumită spermatozoid, cromozomul sexual poate fi sau X sau Y, deoarece mitoza reducțională a celulei diploide masculine, care conține un cromozom X și unul Y, poate duce la două celule haploide care să conțină fie un cromozom X, fie un cromozom Y. Adică, spre deosebire de ovul care este întotdeauna de sex feminin, spermatozoidul poate fi atît de sex feminin, prin cromozomul X pe care îl poate conține, cît și de sex masculin, prin cromozomul Y pe care îl conține.

Prin procesul destul de complicat de unire a celor două celule haploide, provenite de la două organisme diferite, adică de unire a spermatozoidului cu ovulul, va lua naștere o nouă celulă diploidă, zigotul. Acesta va dispune de informația genetică provenită de la cei doi părinți, mai bine zis de la mai multe serii de indivizi, care au transmis-o celor doi părinți, care la rîndul lor o transmit zigotului. Informația genetică pe care o primește zigotul provine de fapt de la niște indivizi care se pierd în negura vremilor. Ea a trecut deci prin proba timpului, reușind să se mențină nealterată în pofida numeroșilor factori entropici.

Cu ajutorul informației genetice și al unui bogat echipament enzimatic, zigotul începe să se dividă foarte rapid. El dă naștere la început la niște blastomere identice între ele. Curînd însă celulele care vor lua naștere se vor diferenția între ele. În centrul grămezii de blastomere identice apare mai întîi un lichid care împinge blastomerele la margine. Se formează astfel o veziculă la extremitatea căreia se adună o masă mai mare de celule care formează embrionul. Celulele embrionului se așază apoi în trei straturi: ectodermul, mezodermul și endodermul. Din aceste trei straturi vor lua naștere toate organele. Din ectoderm va lua naștere tubul neural. Din endoderm va lua naștere intestinul primitiv. Din mezoderm va lua naștere tubul cardiovascular. Aceste tuburi primitive vor evolua apoi pentru a da naștere sistemului nervos, aparatului digestiv și aparatului cardiovascular. Extremitatea anterioară a tubului neural, spre exemplu, se umflă și se împarte apoi în trei și apoi în cinci vezicule cerebrale, din care se va dezvolta creierul.

Celulele care au apărut din zigot încep deci la un moment dat să se diferențieze. Deși au primit aceeași informație genetică, ele încep să se deosebească între ele. Diferențierea

aceasta se accentuează și devine ireversibilă. Prin diferențiere celulele se specializează. Ele nu vor mai putea îndeplini orice activitate, dar pe cea pe care o vor îndeplini o vor îndeplini mult mai bine. Celulele specializate păstrează și chiar își perfecționează posibilitatea de a sintetiza anumite proteine, dar își pierd posibilitatea de a sintetiza altele. S-ar putea ca această diferențiere să fie determinată de niște represori sau poate, după cum arată J. D. Watson (195), chiar de anumite mutații. Rolul de a bloca anumite porțiuni din informația genetică a fost atribuit la un moment dat histonelor, niște proteine bazice care învelesc molecula de ADN. Celulele sau țesuturile diferențiate vor influența apoi celulele și țesuturile învecinate printr-o inducție reciprocă. Aceasta înseamnă că relațiile intercelulare pot să ducă, ele însele, la adîncirea diferențierilor.

Dacă relațiile intercelulare pot contribui la desăvîrșirea diferențierilor, ele sînt cu atît mai necesare după ce diferențierile s-au produs. Celulele foarte diferențiate din organism nu mai sînt în stare să trăiască independente. Activitățile pe care le îndeplinesc ele depind de, sau condiționează, activitățile celorlalte celule. De aceea, pe lîngă mecanismele de reglare intracelulară, devin absolut necesare și mecanismele de reglare intercelulară.

Ca și reglarea intracelulară, reglarea intercelulară presupune și ea existența unor posibilități de comunicare. Celulele dintr-un organism pluricelular, cum este organismul uman, nu pot comunica toate între ele prin contact direct. Datorită numărului lor foarte mare, o celulă din organismul uman nu va putea comunica direct cu toate celelalte celule și nici chiar cu celulele cu care ar fi absolut necesar să comunice. De aceea, pe lîngă contactul direct, celulele mai trebuie să comunice și prin intermediul unor substanțe chimice, care joacă rolul de mesageri chimici. Dar ca orice comunicare și comunicarea prin intermediul mesagerilor chimici presupune existența unui sistem de comunicație, care să facă posibilă deplasarea acestor mesageri chimici de la sursa de emisie la celula de destinație. Pentru a putea permite însă deplasarea unor molecule atît de mari, cum sînt unii mesageri chimici, sistemul de comunicație intercelulară trebuie să fie, ca și cel de comunicație intracelulară, un sistem lichid. Din anumite motive, cum ar fi cele de solubilitate și de termoreglare, substanța lichidă la care au apelat sistemele biologice este apa.

Apa îndeplinește în sistemele vii foarte multe roluri. Pe lîngă faptul că îndeplinește rolul de canal de comunicație pentru informația structurală, ea participă și la cele două procese fundamentale ale vieții, adică la fotosinteză și la respirație (40). În timpul fotosintezei ea este descompusă în oxigen și hidrogen, ultimul fiind legat de bioxidul de carbon pentru sinteza substanțelor organice. În procesul de respirație, prin oxidarea substanțelor organice se reface bioxidul de carbon și apa.

În mod normal moleculele de apă, H—O—H, formează legături de hidrogen. Deși datorită mișcării termice aceste legături se rup mereu, ele se și refac mereu. O moleculă de apă este legată prin patru punți de hidrogen cu alte patru molecule de apă, pe care însă le va schimba mereu. Molecula de apă poate forma legături de hidrogen și cu alte molecule polare, cum ar fi acidul piruvic sau glucoza, pe care, nefiind avantajoase din punct de vedere energetic, le va înlocui cu moleculele de apă, cel puțin atunci cînd datorită agitației termice, moleculele străine vor găsi niște molecule cu o conformație spațială complementară. În acest caz glucoza va fi cedată moleculei de hexochinază, spre exemplu.

Viața nu poate exista în afara apei. Apa reprezintă uneori pînă la 99% din sistemul viu. Ea se găsește atît înăuntrul, cît și înafara celulei. Uneori celulele plutesc chiar în apă, așa cum se întîmplă cu celulele sîngelui, care este un țesut lichid.

Materia vie este de fapt o soluție coloidală în stare de gel, adică între starea lichidă și starea solidă. În această soluție coloidală în stare de gel, care cuprinde în ochiurile ei soluțiile ionice, moleculare și macromoleculare, are loc, datorită agitației termice, procesul de difuziune a particulelor solvite în masa solventului, fără un consum specific de energie.

Dacă soluțiile sînt separate de o membrană, așa cum este membrana celulară, se poate produce procesul de osmoză, adică trecerea apei dinspre soluția mai puțin concentrată spre soluție mai concentrată, pînă la egalizarea concentrațiilor. Migrarea apei dintr-o parte în alta a membranei este determinată de presiunea osmotică, care este egală cu presiunea hidrostatică care trebuie imprimată soluției mai concentrate pentru a opri intrarea apei și diluarea ei.

Odată cu funcția de transport a substanțelor plastice și energetice, apa îndeplinește și funcția de transport a mesagerilor chimici. Diferitele celule specializate sintetizează și elimină în mediul înconjurător anumite substanțe chimice care vor putea influența activitatea altor celule. Dacă nu ar exista mediul intercelular lichid, aceste substanțe nu ar putea ajunge la celulele a căror activitate trebuie să o influențeze.

Apa din organismul uman este repartizată în două mari sectoare: unul intracelular și unul extracelular. Apa din sectorul extracelular reprezintă aproximativ 20% din greutatea organismului uman. Apa din sectorul extracelular este repartizată și ea, la rîndul ei, în două sectoare: sectorul interstițial, care se află în jurul celulelor și reprezintă 16%, și sectorul circulant, sau vascular, care cuprinde apa din aparatul cardiovascular și care reprezintă 4% din greutatea organismului. Deoarece repartiția și compoziția apei din cele trei sectoare, celular, interstițial și vascular, nu se păstrează în mod spontan, a fost necesară apariția unor celule și țesuturi specializate în reglarea volumului, a compoziției și a mișcării apei prin organismul uman.

Orice modificare a volumului de sînge, spre exemplu, este sesizată de niște receptori sensibili la variațiile de presiune ale sîngelui. Cînd volumul de sînge scade, umplerea atriilor scade și ea, iar această scădere a umplerii atriilor stimulează baroreceptorii, care vor transmite informațiile respective unor formațiuni din hipotalamus, unde vor stimula secreția de hormon antidiuretic. Hormonul antidiuretic, secretat de neuronii din hipotalamus, este trimis prin intermediul prelungirilor neuronale pînă la hipofiza posterioară de unde este vărsat în circulația sanguină care îl transportă la rinichi unde va reduce diureza, refăcînd astfel volumul de lichid care a scăzut din diferite motive.

Reglarea volumului sanguin este însă indisolubil legată de reglarea compoziției sîngelui. Receptorii care sesizează modificarea compoziției sîngelui sînt niște celule neuronale situate și ele în hipotalamus, care generează impulsuri în funcție de gradul lor de hidratare sau de deshidratare. Dacă sîngele care le irigă are o osmolaritate scăzută, adică conține mai puține substanțe dizolvate, și mai ales mai puțin sodiu care reprezintă 90% din electroliții dizolvați în plasmă, atunci apa pătrunde în aceste celule specializate pentru a egaliza, conform celui de-al doilea principiu al termodinamicii, concentrația dinăuntrul celulelor cu cea din afară. Celulele se edematiază și vor emite mai puține impulsuri

neuronilor care secretă hormonul antidiuretic. Scăderea secreției de hormon antidiuretic va duce la creșterea diurezei, deci la eliminarea apei în exces și la refacerea concentrației sîngelui.

Pe lîngă hormonul antidiuretic, care poate crește sau scădea eliminarea de apă, la refacerea volumului și a compoziției sîngelui mai intervine și un alt hormon, aldosteronul. Acesta poate crește sau reduce eliminarea de sodiu (185). Între concentrația sodiului și secreția de aldosteron există un circuit de *feed-back* negativ, deoarece orice creștere a sodiului determină o reducere a secreției de aldosteron.

Hormonul antidiuretic și aldosteronul participă la menținerea, prin intermediul unor mecanisme de *feed-back*, a homeostaziei hidrice, scăzînd sau crescînd, după împrejurări, eliminarea de sodiu sau de apă (fig. 21).

Oricît ar corecta însă aceste mecanisme de *feed-back* deshidratarea organismului, spre exemplu, ele nu vor mai putea, la un moment dat, să-i facă față, deoarece ele nu vor putea opri complet eliminarea de apă. În orice situație,

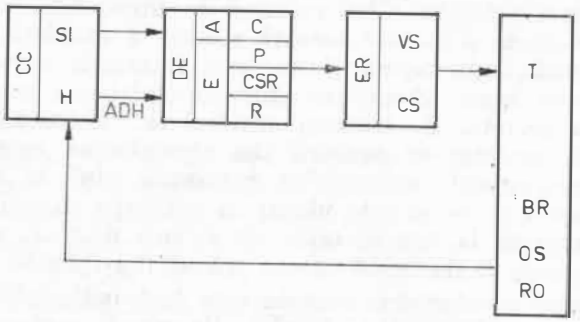


Fig. 21. Mecanismul de *feed-back* de reglare a volumului *VS* și compoziției sîngelui *cs*. Traductorii I sînt reprezentați de niște baroreceptori *BR* care sesizează variațiile de volum, de niște osmoreceptori *OS*, care sesizează variațiile de concentrație, și de niște receptori *RO* care sesizează starea de dezhidratare celulară, așa cum fac cei din mucoasa orofaringiană. Informațiile culese de acești receptori sînt trimise unor centri de comandă *CC*, aflați în anumite zone ale creierului, cum ar fi sistemul limbic și hipotalamusul. Aceștia, prin intermediul unor stimuli nervoși sau al unor mesageri chimici, cum ar fi hormonul antidiuretic *ADH*, acționează asupra unor organe de execuție, cum ar fi rinichiul *R*, pielea *P*, corticosuprarenala *CSR* și chiar asupra comportamentului, pentru a regla în așa fel eliminările și aportul de apă, încît să se păstreze în orice situație un volum și o compoziție constante ale sîngelui.

omul trebuie să elimine prin piele, prin rinichi și prin plămîni o anumită cantitate de apă. Aceasta demonstrează că mecanismele de *feed-back* nu pot păstra homeostazia organismului în orice situație dacă nu intervine la un moment dat mecanismul de *feed-before.*

Pentru reglarea volumului și a compoziției apei din organism devine necesară la un moment dat nu numai reglarea eliminărilor, ci și reglarea aportului, adică a ingestiei de apă. Ingestia de apă este determinată de senzația de sete, determinată și ea la rîndul ei de deshidratarea mucoasei orofaringiene, care va determina iritarea terminațiilor nervoase de la nivelul orofaringelui (19). Senzația de sete mai poate fi produsă și de deshidratarea celulelor osmoreglatoare din hipotalamus. Excitarea terminațiilor nervoase sau a celulelor osmoreglatoare va duce, în cele din urmă, la un comportament corespunzător satisfacerii necesităților de apă ale organismului. Prin intermediul informațiilor plecate de la nivelul orofaringelui spre hipotalamus și de aici spre formațiunile superioare, unde se vor întîlni cu informațiile primite din afară, organismul își va putea reface homeostazia hidrică în momentele sale critice.

Prin reglarea sectorului circulant, organismul își va putea apoi regla și homeostazia celorlalte sectoare, deoarece între ele există schimburi permanente. În primul rînd, există un schimb permanent între sectorul vascular și sectorul interstițial, care scaldă celulele organismului. Prin intermediul lichidului interstițial celulele organismului primesc substanțele de care au nevoie și tot prin intermediul lui elimină substanțele nocive care rezultă în timpul activității lor. Lichidul interstițial cedează apoi aceste substanțe lichidului circulant care le transportă la rinichi, la piele sau la plămîni pentru a fi eliminate din organism.

Apariția în lichidul interstițial a unor substanțe secretate de anumite celule va influența însă activitatea altor celule. În condițiile unui sistem hipercomplex, așa cum este organismul uman, format din miliarde de celule care nu pot veni toate în contact direct, această influență de la distanță, prin intermediul unor substanțe chimice, capătă o importanță deosebită. Ea devine un mijloc de reglare. Substanțele eliminate de diferitele celule devin astfel niște mesageri chimici. De aceea reglarea prin intermediul mesagerilor chimici s-a perfecționat, apărînd chiar celule specializate în

secreția acestor mesageri, așa cum sînt celulele endocrine, care secretă hormoni.

Hormonii secretați în lichidul extracelular de către aceste celule specializate ajung apoi în lichidul circulant care îi transportă la celulele țintă. De aceea, transportînd substanțele plastice, energetice și mesagerii chimici, de la niște celule la alte celule, aparatului cardiovascular îi revine și un rol de reglare și de coordonare a celorlalte aparate și organe, a căror funcționare depinde de perfuzia lor cu sînge, în condițiile în care celulele s-au specializat pentru îndeplinirea unei singure funcții, nu numai activitatea, ci însăși existența lor depinde de modul în care primesc substanțele și informațiile necesare și de modul în care sînt eliberate de substanțele dăunătoare care iau naștere în timpul activității lor. Iar la realizarea acestor condiții contribuie în mare măsură și aparatul cardiovascular.

Avînd deci un rol foarte important și foarte complicat în economia sistemului biologic, funcționarea aparatului cardiovascular este controlată și ea de niște mecanisme cibernetice (19). Aparatul cardiovascular este format, după cum se știe, dintr-un sistem de vase sanguine și dintr-o pompă musculară, inima care pune în mișcare sîngele prin aceste vase de o constituție particulară. Aportul de sînge spre țesuturi depinde în primul rînd de cantitatea de sînge pe care o pompează inima, adică de debitul cardiac. Acesta depinde, la rîndul său, de cantitatea de sînge care se reîntoarce la inimă, adică de reîntoarcerea venoasă. Dată fiind capacitatea mult mai mare a sistemului venos, care are un volum de trei ori mai mare ca cel al sistemului arterial, și variațiile de calibru ale venelor, care au o distensibilitate de opt ori mai mare decît a arterelor, întoarcerea venoasă poate varia foarte mult. Debitul sanguin va depinde tocmai de diferența de presiune dintre cele două extremități, cea arterială cu o presiune de 100 mm Hg și cea venoasă cu o presiune de 1—2 cm H_2O, precum și de rezistența pe care o întîmpină sîngele prin sistemul vascular, adică:

$$D = \frac{P_1 - P_2}{R},$$

unde P_1 reprezintă presiunea de la capătul arterial, P_2 — presiunea de la capătul venos, iar R — rezistența pe care o întîmpină sîngele prin arborele circulator. Rezistența

depinde și ea de diametrul, de lungimea vaselor și de viscozitatea sîngelui. Scăderea diametrului vaselor de sînge prin ramificarea lor pînă la capilare duce la scăderea vitezei și a presiunii odată cu creșterea suprafeței patului vascular. De aceea presiunea arterială scade foarte mult la nivelul capilarelor.

Avînd o tunică musculară contractilă, arteriolele își pot modifica însă diametrul lor, ceea ce face ca de ele să depindă în mare măsură rezistența periferică. Putînd chiar să se închidă și să se deschidă sub influența unor factori locali, arteriolele pot adapta circulația locală în funcție de nevoi.

Sîngele expulzat ritmic de către inimă în arterele mari, sub forma unor unde pulsatile, este transportat de elasticitatea arterelor, care înmagazinează energia ce o primesc în timpul sistolei pentru a o oferi în timpul diastolei, într-o undă continuă. De la arterele elastice, sîngele ajunge la arteriole. Din arteriole el ajunge în capilare și abia aici, datorită peretelui lor foarte subțire, de 0,3—0,8 microni, format dintr-un singur strat de celule dispuse pe o membrană bazală, se poate face schimbul de substanțe plastice, energetice și de mesageri chimici între sectorul circulant și lichidul interstițial. Deși au un diametru foarte mic, de aproximativ 10—20 de microni, datorită numărului lor foarte mare, care poate ajunge pînă la 5000 de capilare pe mm^2, așa cum este în creier și în plămîni, sectorul capilar oferă o suprafață foarte mare de schimb (7). Artera mezenterică superioară, care irigă pancreasul, intestinul subțire și partea dreaptă a intestinului gros, se ramifică în 100 000 000 de capilare. Deși un capilar nu poate avea o lungime mai mare de 1 mm, punînd cap la cap toate capilarele unui om se obțin 100 000 km de capilare, cu o suprafață totală de 6300 m^2 (86).

Ajuns la nivelul capilarelor, sîngele se întinde ca o peliculă extrem de subțire pe această imensă suprafață de schimb. Un cm^3 de sînge poate să acopere o suprafață de peste 2000 de cm^2. Schimbul dintre sectorul circulant și cel interstițial se face prin jocul dintre presiunea hidrostatică (care la capătul arterial al capilarului este de 35 mm Hg, iar la capătul venos al capilarului este de 12 mm Hg) și presiunea coloidosmotică a sîngelui care este de 25 mm Hg. Presiunea coloidosmotică a sîngelui este determinată de substanțele macromoleculare, cum sînt proteinele, dizolvate în plasmă. Sîngele conține 7,3 g proteine la suta de ml

de sînge. Iar lichidul interstițial nu conține decît 1,8 g la suta de ml de lichid. Deoarece substanțele macromoleculare nu pot trece prin membrana capilară, apa din sectorul interstițial va căuta să treacă în sectorul vascular pentru a egaliza presiunea osmotică. La capătul arterial al capilarului, presiunea hidrostatică fiind mai mare decît cea coloidosmotică, va împinge apa cu diferitele substanțe micromoleculare, care pot trece prin membrana capilară, în sectorul interstițial. Prin scăderea presiunii hidrostatice pînă la 12 mm Hg, la capătul venos al capilarului, presiunea coloidosmotică, care este de 25 mm Hg, devine mai mare decît presiunea hidrostatică și va atrage apa cu diferite substanțe micromoleculare, din nou în sectorul vascular. Trecerea dintr-un sector în altul se face prin difuziune liberă. Cantitatea K a substanței care trece de o parte și de alta a membranei va depinde, conform legii lui Fick, de constanta sa de difuziune D, de suprafața de difuziune S, de diferența de concentrație dintre cele două sectoare G_1 și G_2 și de distanța de difuziune d, conform formulei:

$$K = D \times S \frac{G_1 - G_2}{d}.$$

Astfel, la nivelul capilarelor se pot realiza schimburile necesare. Oxigenul, spre exemplu, fixat la nivelul plămînilor, de către hemoglobină, este cedat lichidului interstițial în proporție de 30%, datorită diferențelor de presiune parțială (care este de 95 mm Hg în sîngele arterial și 35 mm Hg în țesuturi). Disocierea oxihemoglobinei la nivelul capilarelor este determinată nu numai de diferența de presiune, ci și de temperatură, de pH, și de concentrația în bioxid de carbon. În același timp, bioxidul de carbon, rezultat din arderile celulare, atingînd o presiune parțială de 55 mm Hg, trece în capilar unde nu are decît o presiune parțială de 40 mm Hg. Tot datorită diferențelor de presiune dintre cele două sectoare, glucoza și acizii grași din sînge trec în lichidul interstițial, iar ureea, acidul uric și alți produși de metabolism trec din lichidul interstițial în sînge, pentru a fi eliminați din organism.

Schimbul dintre cele două sectoare se face deci în conformitate cu cel de-al doilea principiu al termodinamicii, care tinde spre creșterea entropiei. Faptul că organismul reușește să obțină scăderea entropiei și păstrarea ordinii

între cele două sectoare de lichid se datorește cuplării presiunii hidrostatice cu presiunea coloidosmotică. Prin această cuplare organismul reușește să păstreze ordinea chiar pe seama celui de-al doilea principiu al termodinamicii, care în afara acestei cuplări, acestei organizări, s-ar opune ordinii respective.

Pentru a se realiza o presiune hidrostatică de 35 mm Hg la capătul arterial al capilarului este necesar un flux de sînge, care se realizează cu ajutorul pompei cardiace. Pompa cardiacă expulzează ritmic 70 de ml de sînge. La un ritm de 70 de bătăi pe minut, inima pompează cinci litri de sînge pe minut. Aceasta înseamnă 300 litri pe oră și 7200 litri pe zi. Și această muncă fantastică se realizează automat. Mușchiul cardiac se contractă printr-o autoexcitație inițiată în nodulul sinoatrial care este transmisă apoi întregului mușchi cardiac prin intermediul unor structuri specializate, cum sînt nodulul atrio-ventricular, fasciculul lui Hiss și rețeaua lui Purkinje. Stimulii ritmici, care determină contracția ritmică a inimii, sînt generați de nodulul sinoatrial, care are un potențial de repaus de 55—60 de mV, adică mai mic decît potențialul de repaus al celorlalte fibre miocardice, potențial care este de 80—90 mV. Potențialul mai mic al celulelor nodulului sinoatrial este determinat probabil de permeabilitatea mai mare a acestor celule pentru sodiu. Din această permeabilitate mai mare pentru sodiu sau mai bine zis din jocul care se stabilește între intrarea mai ușoară a sodiului și ieșirea din celulă a kaliului derivă autoexcitabilitatea celulelor nodulului sinoatrial. În timpul excitației conductanța pentru sodiu crește foarte mult. Intrarea rapidă a sodiului determină depolarizarea membranei și apariția unui potențial de acțiune. Creșterea conductanței pentru sodiu nu durează însă decît circa 0,15 secunde, după care conductanța pentru sodiu scade brusc, crescînd însă conductanța pentru potasiu care duce la hiperpolarizarea celulei. Dar și conductanța pentru potasiu scade destul de rapid permițînd intrarea sodiului în celulă și așa mai departe de 60—70 de ori pe minut (fig. 22).

Avînd un potențial de repaus mai scăzut, celulele nodulului sinoatrial se vor depolariza mai repede. De aceea nodulul sinoatrial este cel care va iniția și va transmite excitația celorlalte formațiuni care se depolarizează mai greu și tocmai de aceea cînd, din anumite motive, vor prelua conducerea inimii, îi vor imprima un ritm mult mai lent.

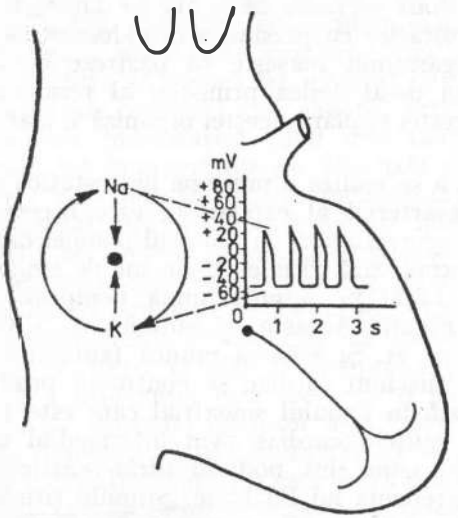


Fig. 22. Reprezentarea schematică a automatismului inimii determinat de variațiile ritmice ale permeabilității față de natriu *Na* a celulelor nodului sinoatrial. Creșterea conductanței pentru natriu duce la apariția unui potențial de acțiune, care se va propaga prin sistemul de comunicație al inimii la intreg mușchiul cardiac. Iar creșterea conductanței pentru kaliu *K* va determina reapariția potențialului de repaus de −55−60 mV.

Trebuie remarcat însă că autoexcitabilitatea inimii se datorește, în cele din urmă, unui grad mai redus de ordine, unei opoziții mai slabe a celulelor nodulului sinoatrial, precum și a celorlalte formațiuni autoexcitabile ale inimii, față de cel de-al doilea principiu al termodinamicii. Adică avînd un potențial de repaus mai mic, ele se opun mai puțin uniformizării concentrațiilor dinăuntrul cu cele din afara celulei, permițînd sodiului să intre mai ușor în celulă. În felul acesta și autoexcitabilitatea inimii se desfășoară pe seama celui de-al doilea principiu al termodinamicii.

Automatismul intrinsec al inimii nu este însă suficient pentru a asigura cantitățile optime de sînge de care au nevoie diferitele organe în activitatea lor foarte variabilă. În efortul fizic, spre exemplu, inima trebuie să asigure un aport mai mare de sînge spre diferitele organe și mai ales spre sistemul muscular, De aceea în efortul fizic inima își mărește debitul de la cinci litri pînă la 35 litri pe minut. Și această creștere de șapte ori a debitului cardiac se realizează tot automat. Destinderea mușchiului cardiac, determinată de creșterea întoarcerii venoase, produce în mod automat o creștere a debitului cardiac mai ales prin creșterea debitului pe o bătaie și mai puțin prin creșterea frecvenței inimii.

Dar nici adaptarea automată a inimii la nevoile uneori foarte mari nu este încă suficientă pentru că nu toate țesuturile și organele sînt solicitate în mod egal. De aceea, pe lîngă reglarea automată a debitului cardiac, mai este necesară și autoreglarea circulației locale în funcție de nevoile concrete ale organului respectiv. Acest lucru se realizează prin intermediul musculaturii arteriale, care se termină cu un adevărat sfincter precapilar. Acest sfincter precapilar este în mod normal contractat și nu lasă sîngele să treacă în capilarul respectiv. Oprind sîngele să treacă, sfincterul precapilar își oprește și propriul său aport de oxigen, absolut necesar pentru a putea fi contractat. Nemaiavînd oxigenul necesar contractării, sfincterul precapilar se dilată. Prin dilatare, sîngele arterial trece în capilar și îi aduce oxigenul necesar contractării. De aceea sfincterul se contractă din nou. Prin acest mecanism de *feed-back* negativ dintre concentrația în oxigen a țesutului respectiv și contracția sfincterului precapilar (care poate fi influențat și de alte substanțe, cum ar fi acidul lactic, care apare în timpul activității anaerobe, histamina, bioxidul de carbon și catecolaminele) se poate regla, sau mai bine zis se autoreglează, perfuzia cu sînge din fiecare organ și țesut.

Autostimularea ritmică, adaptarea automată a inimii la efort și autoreglarea circulației locale nu pot menține totuși o homeostazie circulatorie, care să poată asigura condiții de viață adecvate celulelor în orice situații. De aceea pentru menținerea homeostaziei circulatorii a fost necesară apariția unor mecanisme de *feed-back* supraetajate, la care să participe și alte organe, dacă nu chiar toate organele, care în calitatea lor de beneficiari nu numai că pretind, dar reușesc chiar să participe, într-un fel sau altul, la reglarea aparatului cardiovascular. Deoarece perfuzia cu sînge depinde în mare măsură, sau poate în cea maim are măsură, de presiunea sîngelui, unele organe care iau parte la mecanismul de *feed-back* supraetajat, cum ar fi receptorii din sinusul carotidian, din arcul aortei, din artera pulmonară, din atrii și din ventriculi, sesizează tocmai variațiile de presiune ale sîngelui. Avînd rolul de traductori, aceste organe transformă variațiile de presiune în stimuli nervoși

pe care îi trimite retroactiv unor centri de reglare din bulb, din hipotalamus și din scoarța cerebrală. Acești centri trimit apoi deciziile care rezultă în urma prelucrării informațiilor primite unor organe de execuție, cum sînt inima, vasele sanguine, rinichiul, medulosuprarenala, corticosuprarenala și altele (fig. 23). Iar acestea prin creșterea sau scăderea debitului cardiac, prin contracția sau dilatația vaselor de sînge, prin creșterea sau scăderea secreției de adrenalină, noradrenalină, aldosteron, renină, prostaglandine, plasmokine și altele, vor putea corecta variațiile presiunii și ale compoziției sîngelui.

Dar nici acest mecanism de *feed-back* supraetajat, oricît de eficace ar fi, nu poate corecta totuși orice fel de erori pentru a menține homeostazia circulatorie în orice fel de situații. Ca orice mecanism de *feed-back*, el are anumite limite și nu poate corecta orice fel de erori, cum ar fi, spre exemplu, cele produse asupra organelor sale de comandă, sau de execuție. De aceea peste mecanismul de *feed-back* supraetajat a fost necesară apariția unui mecanism de *feed-before*, care să prevină cel puțin acele erori care nu ar mai putea fi corectate de către mecanismele de *feed-back*. Mecanismul de *feed-back* nu primea informații decît din

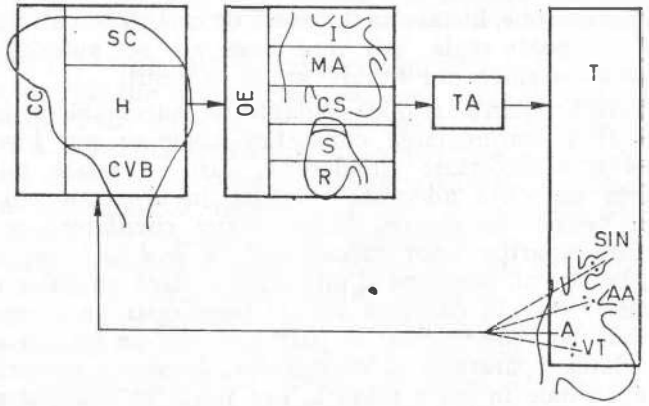


Fig. 23. Schema mecanismului de *feed-back* în care scoarța cerebrală *SC*, hipotalamusul *H* și centrii vasomotori din bulb *CVB*, în calitate de centri de comandă *CC*, inima *I*, musculatura arterială *MA*, corticosuprarenala *CS*, suprarenale *S*, și rinichiul *R*, în calitate de organe de execuție *OE*, și sinusul caroticlian *SIN*, receptorii aortici *AA*, ventriculari *VT*, și auriculari *A*, în calitate de traductori *T*, participă la reglarea tensiunii arteriale *TA*.

mediul intern. Mecanismul de *feed-before* trebuie însă să primească și informații din mediul extern. Cu ajutorul lor, mecanismul de *feed-before* caută să ia acele decizii cu care să prevină tulburările pe care evenimentele care au generat informațiile respective le-ar putea produce (fig. 24). Avînd în considerare întregul context al situației, mecanismul de *feed-before* poate adopta, pe baza informațiilor venite din afară și a celor venite dinăuntrul organismului, deciziile cele mai adecvate pe care să le îndrepte spre centrii de comandă ai mecanismului de *feed-back*. Acestora le va reveni apoi sarcina de a executa și de a controla modul în care se execută comenzile date.

Dacă mecanismul de *feed-before* nu mai funcționează normal, pot apărea o serie întreagă de boli, cum ar fi hipertensiunea arterială esențială, în care deși organele mecanismelor de reglare nu au suferit nici un fel de leziuni, ele nu mai funcționează normal (131, 134). Dată fiind capacitatea limitată de transmitere și de prelucrare a informațiilor, mecanismul de *feed-before* poate fi tulburat prin simpla suprasolicitare informațională, care, sub forma stresurilor și a tensiunilor nervoase (119), este foarte des incriminată în etiopatogenia hipertensiunii arteriale (142, 146) și chiar

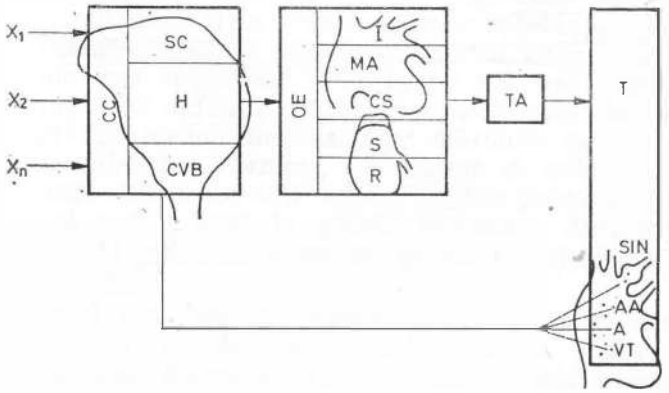


Fig. 24. În momentul în care la centrii de comandă ai mecanismelor de *feed-back* sosesc — pe lîngă informațiile generate de variațiile elementului reglat — și informațiile generate de variațiile mediului înconjurător $x_1 x_2 \ldots x_n$, mecanismele de *feed-back* devin de fapt niște mecanisme de *feed-before*.

a ateroscolerozei (136, 151). Suprasolicitarea informațională poate face ca informațiile de intrare să nu mai poată fi îndreptate spre căile de ieșire cele mai adecvate, fără ca vreunul dintre organele mecanismului de *feed-before* să fie lezat. Este suficient ca informația care ar trebui să fie trimisă pe o cale să o găsească ocupată de o altă informație pentru ca mecanismul de *feed-before* să nu mai poată funcționa normal.

Desigur că de cele mai multe ori mecanismele de reglare reușesc să păstreze o homeostazie circulatorie și să asigure celulelor organismului condițiile de viață cele mai adecvate. Marea eficacitate a mecanismelor de reglare a circulației sanguine rezultă tocmai din această etajare, supraetajare și intricare a mecanismelor respective. Intricarea aceasta face ca mecanismele de reglare să se supravegheze, să se coordoneze și să se compenseze reciproc, oferind astfel organismului posibilitatea de a-și putea păstra identitatea în cele mai diferite situații.

CAPITOLUL XI

REGLAREA ENDOCRINĂ

Celula este un sistem deschis care face un permanent schimb de substanțe, de energie și de informație cu mediul în care se află. Efectuînd ca orice sistem o anumită operație de transformare asupra intrărilor, celula ia din mediu anumite substanțe și va elimina în mediu alte substanțe. Unele din substanțele eliminate rezultă din degradările succesive la care sînt supuse în celulă substanțele primite. Unele din substanțele care rezultă în urma degradărilor sînt inutile și chiar dăunătoare.

Spre deosebire însă de substanțele care rezultă în urma degradărilor, celulele mai elimină în mediul înconjurător și anumite substanțe secretate de ele. Deși toate celulele au această capacitate de a secreta anumite substanțe, prin care să stimuleze sau să frîneze activitatea altor celule, unele celule s-au specializat chiar în secreția unor astfel de substanțe. Cu ajutorul substanțelor sintetizate de ele și eliminate în mediul înconjurător, substanțe pe care Starling le-a denumit hormoni, ele reușesc să influențeze de la distanță activitatea altor celule. Celulele producătoare de hormoni s-au grupat în glande endocrine, denumire care vine de la *endo* care înseamnă înăuntru și *criein* care înseamnă a elimina.

Deși omul are doar opt glande endocrine, și anume epifiza, hipofiza, tiroida, paratiroidele, timusul, suprarenalele, pancreasul și ovarele sau testiculele, acestea secretă un număr foarte mare de hormoni (7, 48).

Pancreasul secretă insulina care, stimulînd metabolismul glucozei, sau polimerizarea ei în glicogen, duce la scăderea glucozei din sînge. Dar pancreasul mai secretă și glucagonul care, stimulînd descompunerea glicogenului precum

și formarea de glucoză din aminoacizi, duce la creșterea glucozei în sînge.

Ovarul secretă hormoni estrogeni (estrona, estradiolul și estriolul) care influențează dezvoltarea și funcționarea organelor genitale feminine, caracterele sexuale secundare, cum este vocea, distribuția grăsimii, a părului și dimensiunile bazinului osos. Ovarul mai secretă și progesteronul care acționează asupra tractului genital pentru menținerea sarcinii.

Testiculul secretă testosteronul care acționează asupra aparatului genital masculin și asupra celorlalte aparate și organe determinînd caracterele sexuale secundare ale bărbatului. Testosteronul mai are și o acțiune anabolizantă, de dezvoltare a mușchilor și a oaselor.

Glandele suprarenale, care sînt formate din două zone: una medulară și una corticală, secretă mai mulți hormoni. Zona medulară sau medulosuprarenala, cum i se mai spune, secretă adrenalina care acționează asupra aparatului cardiovascular, asupra mușchilor netezi și a metabolismului. Ea produce o creștere a frecvenței inimii și a debitului cardiac, precum și o intensificare a glicolizei și a lipolizei, ducînd astfel la o creștere a glicemiei și a lipemiei.

Corticosuprarenala secretă mai mulți hormoni care ar putea fi grupați în trei categorii: glucocorticoizi, mineralocorticoizi și sexuali. Hormonii glucocorticoizi, adică cortizonul și hidrocortizonul, produc o stimulare a gluconeogenezei de către ficat și o scădere a metabolismului glucozei la periferie. Cortizonul influențează compoziția sîngelui, producînd o scădere a celulelor eozinofile și o creștere a celulelor neutrofile. El influențează permeabilitatea capilară, inhibă unele enzime, cum ar fi hialuronidaza, care intervine în procesul inflamator. De aceea cortizonul este foarte des folosit în practica medicală.

Mineralocorticoizii, adică aldosteronul și dezoxicorticosteronul, intervin în metabolismul apei și al electroliților. Aldosteronul determină retenția de sodiu și implicit de apă și eliminarea de potasiu.

Suprarenala mai secretă însă atît testosteron, cît și progesteron și estrogeni, ceea ce înseamnă că fiecare om are, indiferent de sexul său, atît hormoni sexuali masculini, cît și hormoni sexuali feminini, deși trebuie remarcat că suprarenala secretă hormoni sexuali în cantitate foarte mică.

Timusul este o glandă care se dezvoltă în prima copilărie și se atrofiază la pubertate. El secretă niște hormoni

care intervin în procesele de apărare imunitară. După cercetări minuțioase, J. F. Bach (8) a izolat din timus un polipeptid, cu greutatea moleculară de 1000, care nu are o specificitate legată de specie și se pare să fie unul dintre hormonii secretați de timus.

Paratiroidele secretă parathormonul, care intervine în reglarea metabolismului calciului și al fosforului, prin influența pe care o are asupra oaselor de unde mobilizează calciul și fosforul și asupra rinichiului pe care îl poate face să elimine mai mult sau mai puțin calciu și fosfor.

Tiroida secretă triiodotironina și tetraiodotironina care intervin în reglarea oxidărilor celulare, intensificînd degradarea proteinelor și a lipidelor, crescînd absorbția glucidelor, influențînd activitatea aparatului cardiovascular și a sistemului nervos. În afara acestor hormoni iodați, tiroidă mai secretă și calcitonina care intervine în metabolismul calciului.

Glanda hipofiză este alcătuită din trei lobi: anterior, mijlociu și posterior. Lobul anterior și cel mijlociu alcătuiesc, la un loc, adenohipofiza. Adenohipofiza secretă hormonul somatotrop care stimulează creșterea, hormonul tireotrop care stimulează dezvoltarea tiroidei și secreția de hormoni tiroidieni, hormonul adenocorticotrop care stimulează dezvoltarea și secreția glandelor corticosuprarenale, hormonul gonadotrop foliculostimulant care la femei stimulează dezvoltarea foliculului ovarian și secreția de hormoni estrogeni, iar la bărbat stimulează dezvoltarea testiculelor și spermatogeneza. Adenohipofiza mai secretă hormonul gonadotrop luteostimulant, care la femei stimulează dezvoltarea corpului galben și secreția de progesteron, iar la bărbat secreția de testosteron. Adenohipofiza mai secretă, în sfîrșit, hormonul luteotrop care stimulează dezvoltarea glandei mamare și apariția lactației. Hipofiza intermediară, care face și ea parte din adenohipofiză, secretă hormonul melanotrop, care reglează formarea și răspîndirea pigmentului brun, denumit melanină.

Neurohipofiza depozitează și pune în circulație doi hormoni secretați de celulele nervoase din nucleii supraoptici din hipotalamus și transportați pe cale nervoasă, adică de-a lungul axonilor lor, pînă la hipofiza posterioară. Acești doi hormoni sînt ocitocina și vasopresina, sau hormonul antidiuretic, care am văzut că acționează la nivelul tubilor renali stimulînd resorbția apei.

Glandele endocrine secretă deci o serie întreagă de hormoni care, transportați de sînge, mai ales sub formă legată de niște proteine de transport, vor putea influența activitatea unor celule țintă situate la mare distanță de celulele secretoare. Acțiunea hormonilor asupra celulelor țintă va depinde de cantitatea în care ei ajung la celulele respective, care va depinde și ea la rîndul ei de cantitatea în care sînt secretați, de capacitatea de transport a sîngelui și de ritmul în care ei sînt distruși și eliminați. Ea mai depinde, desigur, și de capacitatea celulelor țintă de a recunoaște hormonii respectivi cu ajutorul unor receptori specifici. Dar chiar dacă acțiunea hormonilor nu ar depinde de atîția factori, pentru a putea realiza reglarea endocrină (care înseamnă aducerea stării elementelor $y_1y_2 \dots y_n$ din mulțimea Y_n a celulelor organismului într-o corespondență adecvată cu starea mereu variabilă a elementelor $x_1x_2 \dots x_n$ a factorilor de mediu, prin intermediul unor elemente $g_1g_2 \dots g_n$ care sînt glandele endocrine sau hormonii $h_1h_2 \dots h_n$ pe care ele îi secretă) este necesară existența unor mecanisme de reglare.

Din prezentarea hormonilor s-a putut constata că unii hormoni, cum sînt cei adenohipofizari, acționează chiar asupra unor glande endocrine. Tireotropul acționează asupra glandei tiroide, gonadotropii acționează asupra glandelor sexuale, iar corticotropul acționează asupra corticosuprarenalei, ceea ce înseamnă că ei reglează sau cel puțin intervin în reglarea acestor glande. Creșterea cantității de hormon tireotrop va determina creșterea secreției de hormoni tiroidieni. Dar în acest caz va trebui stabilită cantitatea de hormon tireotrop pe care trebuie să o secrete hipofiza. De mult s-a constatat că secreția de hormon tireotrop este influențată de secreția de hormoni tiroidieni. Adică tireotropul stimulează secreția de hormoni tiroidieni care la rîndul lor vor inhiba, printr-un mecanism de *feed-back* negativ, secreția de hormon tireotrop (79). Prin intermediul acestui mecanism de *feed-back* se poate asigura o secreție de hormoni în funcție de consum, în așa fel încît să se asigure o concentrație corespunzătoare de hormoni în orice situație. De aceea, între toate glandele periferice și hipofiza care le controlează există astfel de mecanisme de *feed-back*.

Dar mecanismele de *feed-back* negativ nu pot decît să reducă secreția de hormoni tropi hipofizari. De aceea pentru a putea corecta și scăderea secreției lor este necesară intervenția altor mecanisme capabile să stimuleze secreția acestor hormoni.

Acești factori, capabili nu numai de a reduce, ci și de a crește secreția hormonilor hipofizari, sînt secretați de hipotalamus, cu care hipofiza are strînse legături vasculare și nervoase (86, 181). Anumiți neuroni din hipotalamus secretă niște substanțe capabile să stimuleze sau să inhibe secreția hormonilor hipofizari. Hipotalamusul secretă un factor de eliberare, adică de stimulare a secreției de hormon corticotrop, un factor de eliberare a hormonului tireotrop, un factor de eliberare a hormonului foliculostimulant, un factor de eliberare a hormonului luteinizant, un factor de inhibare a prolactinei, un factor de eliberare și un factor de inhibare a hormonului de creștere, și așa mai departe (49). Factorul de eliberare a hormonului tireotrop, ajuns la hipofiză, pe calea vasculară a sistemului port, va stimula secreția de hormon tireotrop care, la rîndul lui, va stimula secreția de hormoni tiroidieni. Secreția factorului de eliberare hipotalamic este inhibată atît de creșterea concentrației de tireotrop, cît și de creșterea concentrației de hormon tiroidian, ea fiind deci controlată, după cum arată Șt. Milcu, atît printr-un *feed-back* scurt, între hipofiză și hipotalamus, cît și printr-un *feed-back* lung, între tiroidă și hipotalamus (fig. 25). Circuitul de *feed-back* scurt dintre hipofiză și hipotalamus poate să corecteze o eventuală creștere a hormonilor hipofizari, care, inhibînd secreția factorilor de eliberare respectivi, va readuce la normal nivelul hormonilor hipofizari.

Secreția hormonilor hipotalamici este influențată însă și de informațiile primite din afară, prin intermediul mecanismului de *feed-before* (132). Mecanismul de *feed-before* primește informații atît din mediul intern, cît și din mediul extern. Informațiile culese de intero-și de exteroceptori sînt îndreptate spre sistemul nervos, care prin vasta lui rețea de comunicație are posibilitatea de a îndrepta deciziile care rezultă în urma prelucrării lor spre căile de ieșire cele mai adecvate pentru a preveni tulburările pe care evenimentele ce au generat informațiile respective le-ar putea produce. La capătul unei astfel de căi se pot găsi și neuronii secretori ai factorilor de eliberare (141). Informațiile sau mai exact deciziile ajunse la acești neuroni vor stimula secreția unor factori de eliberare, care vor stimula secreția hormonilor tropi hipofizari, care vor stimula secreția hormonilor periferici capabili să prevină sau să participe la prevenirea tulburărilor pe care evenimentele ce au generat informațiile respective le-ar putea produce. Așa apare și reacția de stres

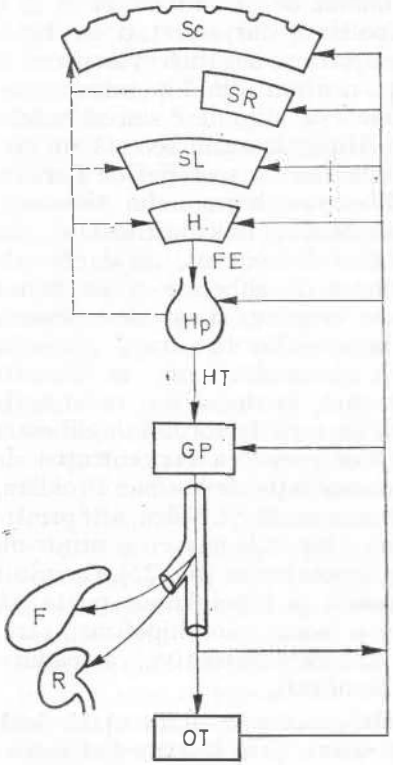


Fig. 25. Mecanismul cibernetic de reglare endocrină (după Șt. Milcu). În cadrul lui se pot pune în evidență mai multe circuite de *feed-back* între scoarța cerebrală *SC*, substanța reticulată *SR*, sistemul limbic *SL*, hipotalamus *H*, care secretă factorii de eliberare *FE*, hipofiză *Hp*, care secretă hormonii glandotropi *HT*, glandele endocrine periferice *GP* și organele și țesuturile *OT* asupra cărora acționează. *F* și *R* reprezintă ficatul și rinichiul care intervin în inactivarea și eliminarea hormonilor.

căruia H. Selye (175) i-a descris mai ales componenta hipofizo-corticosuprarenală. Prin stres H. Selye înțelege atît răspunsul organismului la o agresiune, cît și agresiunea propriu-zisă. Din răspuns el nu a sesizat însă decît acea latură nespecifică de descărcare a hormonilor hipofizocorticosuprarenali prezentă în orice agresiune, deoarece acești hormoni intensifică catabolismul, punînd la dispoziția organismului energia necesară. Înainte de a se produce descărcarea hormonilor hipofizo-corticosuprarenali se produce însă, după cum arată I. Teodorescu-Exarcu (185), o descărcare masivă de catecolamine, adică de adrenalină și de noradrenalină, de către anumite formațiuni ale sistemului nervos și de către medulosuprarenală. Catecolaminele acționează și ele asupra organelor care ar putea pune la dispoziția organismului energia necesară, stimulînd, spre exemplu, glicogenoliza hepatică și lipoliza, ceea ce duce la eliberarea unei cantități mai mari de glucoză și de lipide din depozitele organismului. Catecolaminele mai au însă și o acțiune vasoconstrictoare, cel puțin asupra unor sectoare vasculare, cum ar fi pielea și splina, de unde îndreaptă sîngele spre organele mai importante, cum ar fi inima și creierul, care vor avea astfel o aprovizionare mai bună cu substanțe plastice și cu oxigen.

După descărcarea de catecolamine, care este foarte scurtă, deoarece catecolaminele sînt metabolizate foarte rapid, se produce o descărcare hipofizo-corticosuprarenală și în primul rînd de hormoni glicocorticoizi, care vor continua și ei să intensifice metabolismul pentru a pune la dispoziția organismului energia necesară. Deoarece unele agresiuni ar putea duce și la pierderea de sînge sau de alte lichide (prin diaree, vărsături, plasmoragie etc.), reacțiile postagresive duc și la stimularea de hormon antidiuretic și de aldosteron pentru reducerea eliminărilor de apă și de sodiu și chiar la o creștere a coagulabilității sîngelui, ceea ce reprezintă o mare imperfecțiune, deoarece majoritatea agresiunilor nu duc la pierderi de lichide, iar creșterea coagulabilității sîngelui poate contribui la apariția aterosclerozei.

Dar toate reacțiile substanțial-energetice sînt precedate de niște procese informaționale, așa încît am putea spune că prima fază postagresivă, și de multe ori chiar preagresivă, este de fapt o fază informațională (132). Informațiile generate de agentul patogen sau de situația mai deosebită în care se găsește organismul sînt recepționate de intero-și de exteroceptori care le îndreaptă spre sistemul nervos și mai ales spre acel sistem de alarmă adrenergic, care va elibera prompt catecolamine și spre neuronii secretori de factori de eliberare, sau de hormon antidiuretic, care vor pune în funcțiune un mecanism nespecific, mai ales substanțial-energetic. Dar omul nu este o mașină energetică, el este un sistem cibernetic care caută să folosească energia cît mai adecvat (60). De obicei, el reușește să realizeze acest lucru și să prevină tulburările pe care diferitele agresiuni le-ar putea produce. Cînd nu reușește să realizeze acest lucru, el poate trece din faza de șoc, sau de contrașoc, în faza de epuizare, pentru că de oricîtă energie și substanță ar dispune organismul, el tot nu va putea învinge numeroșii

factori agresivi, care acționează conform celui de-al doilea principiu, dacă nu va folosi în modul cel mai adecvat rezervele de care dispune.

Privind lucrurile sub acest aspect, am putea spune că chiar și apariția agresiunii reprezintă de multe ori rezultatul unei defecțiuni a mecanismului de *feed-before*, care avea rolul să o prevină. Dacă din anumite motive nu a reușit să prevină agresiunea, sau mai bine zis acțiunea ei asupra organismului, atunci din faza informațională, care aparține mecanismului de *feed-before*, se trece în faza de șoc sau de contrașoc, iar dacă nici acum nu reușește să folosească în mod adecvat substanța și energia de care dispune, atunci învinge, desigur, cel de-al doilea principiu al termodinamicii.

Pentru a nu ajunge în această situație, organismul dispune, pe lîngă mecanismele de reglare endocrină, și de un mecanism de reglare mult mai adecvat și mai prompt. Punînd accentul pe componenta informațională mult mai rapidă, mult mai promptă, mai subtilă și mai puțin riscantă, acest sistem reușește să prevină de obicei, sau cel puțin să modereze, acțiunea diferiților factori agresivi asupra organismului. Folosind în modul cel mai adecvat acele mici posibilități de ordine pe care cel de-al doilea principiu al termodinamicii nu le exclude cu desăvîrșire, acest mecanism supraetajat reușește de cele mai multe ori să păstreze identitatea sistemului, în pofida numeroșilor factori perturbanți. Acest mecanism supraetajat păstrează și chiar dezvoltă identitatea organismului cu atîta dezinvoltură, încît iese chiar întărit din confruntarea cu factorii perturbanți. De aceea H. Selye (175), vorbind de stresul vieții, îl considera într-o oarecare măsură chiar necesar. Stresul care nu depășește un anumit nivel antrenează și stimulează parcă sistemul nervos, care este mecanismul supraetajat de mare finețe și subtilitate așezat deasupra tuturor celorlalte mecanisme de reglare.

CAPITOLUL XII

REGLAREA NEUROPSIHICĂ

Sistemul nervos, ca și toate celelalte aparate și sisteme, este alcătuit din celule. În constituția sistemului nervos intră foarte multe feluri de celule. Două dintre ele au însă o importanță mai mare: celula nervoasă, sau neuronul, și celula glială, sau nevroglia. Sistemul nervos este format din aproximativ 14 miliarde de neuroni (7,9).

Neuronul are, ca și toate celelalte celule, o membrană de 200—300 Å, care separă gelul coloidal de complexe proteice, dispuse într-o soluție apoasă de ioni, de mediul extracelular. Datorită permeabilității selective a membranei, care este mai puțin permeabilă pentru sodiu, compoziția ionică a citoplasmei neuronale diferă de compoziția ionică a mediului extracelular. În citoplasmă va predomina potasiul iar în mediul extracelular va predomina sodiul. Datorită acestei repartiții ionice inegale apare o diferență de potențial de aproximativ —90 mV.

Deși pot fi de forme foarte diferite, neuronii se caracterizează prin prezența unor prelungiri (fig. 26). Din numeroasele prelungiri ale neuronului una este mai lungă și se numește axon, iar celelalte se numesc dendrite. Aceste prelungiri le oferă neuronilor posibilitatea de a se lega între ei. Prelungirile unui neuron se pot lega, prin intermediul unor formațiuni denumite sinapse, cu prelungirile, sau chiar cu corpul, altui neuron și așa mai departe, realizînd, datorită numărului foarte mare de sinapse posibile, o rețea de comunicație de o complexitate fantastică. Această rețea va putea îndrepta informațiile primite spre oricare dintre căile de ieșire indiferent de calea pe care au intrat. Rolul ei este acela de a oferi mecanismului de *feed-before* posibilitatea de a îndrepta, de fiecare dată, informațiile primite spre calea de ieșire care duce la organul a cărui activitate

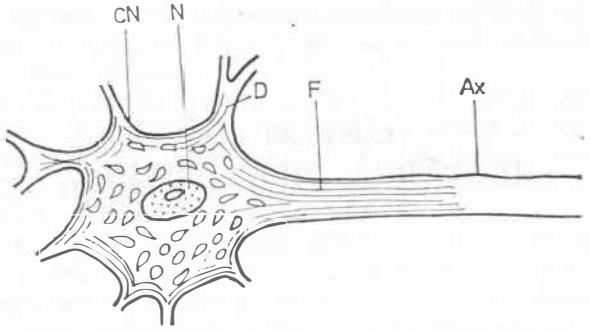


Fig. 26. Reprezentarea schematică a unui neuron (*CN*-corpusculii Nissl *F*-neurofibrile, *N*-nucleu, *D*-dendrite, *Ax*-axon).

ar fi cea mai adecvată prevenirii sau cel puțin corectării tulburărilor pe care evenimentele care au generat informațiile respective le-au produs, sau le-ar putea produce. De aceea spre rețeaua nervoasă sînt trimise mereu informațiile sau mai bine zis semnalele culese de receptorii periferici, adică de acele formațiuni specializate în sesizarea modificărilor foarte mici de substanță și de energie și de a transforma aceste mici modificări în influx nervos.

Organismul uman dispune de o mulțime de exteroceptori capabili să sesizeze acele mici modificări care au loc în mediul înconjurător și să le transforme în stimuli nervoși. Variațiile de lumină sînt transformate în stimuli nervoși la nivelul retinei, sunetul la nivelul urechii, gustul unei substanțe la nivelul mugurilor gustativi, mirosul la nivelul celulelor olfactive, căldura cu ajutorul corpusculilor Ruffini, frigul cu ajutorul corpusculilor lui Krause, presiunea cu ajutorul corpusculilor Vater-Pacini, iar diferitele acțiuni fizice sau chimice, cu ajutorul terminațiilor nervoase libere de la nivelul pielii și al celorlalte organe.

Organismul uman mai dispune însă și de o serie întreagă de interoceptori cu ajutorul cărora monitorizează în permanență mediul intern. Astfel, starea de întindere a mușchilor este transformată în impulsuri nervoase de către fusurile neuromusculare. Alți interoceptori sesizează modificările intervenite în starea articulațiilor. Receptorii din sinusul carotidian și din arcul aortei sesizează și transformă în impulsuri nervoase variațiile de presiune arterială. Cei din peretele venelor mari și ai atriilor sesizează și transformă în impulsuri nervoase variațiile presiunii venoase. Receptorii

din parenchimul pulmonar sesizează variațiile presiunii alveolare. Anumite celule din hipotalamus pot sesiza variațiile presiunii osmotice sau ale concentrației de glucoză și așa mai departe (7).

Semnalele culese de acești receptori sînt preluate de niște neuroni care le îndreaptă apoi spre sistemul nervos central. Celulele cu conuri și bastonașe din retină, spre exemplu, transformă, prin intermediul unor procese fotochimice, undele electromagnetice, cu o lungime de undă cuprinsă între 400 și 750 de milimicroni, în impulsuri nervoase. Aceste impulsuri nervoase sînt preluate de niște neuroni bipolari subiacenți, ai căror axoni formează nervul optic, care va transmite spre sistemul nervos central semnalele generate de variațiile de lumină. Dar atît celulele receptoare, cît și neuronii subiacenți au un anumit prag. Celulele cu bastonașe pot sesiza a suta milioana parte dintr-o lumînare standard. Ele au o atît de mare sensibilitate pentru a putea sesiza energia luminoasă înainte de a fi distruse de ea, ceea ce nu se întîmplă decît la o lumină de o sută de mii de lumînări standard. Celulele cu bastonașe vor putea deci recepționa, fără nici un pericol, toate variațiile luminoase cuprinse între a suta milioana parte și o sută de mii de lumînări standard.

Dacă stimulii pe care celula cu bastonașe îi trimite neuronului bipolar depășesc un anumit prag, atunci ei vor produce detonarea, adică creșterea permeabilității membranei neuronale pentru sodiu, care va intra rapid în celulă ducînd la dispariția potențialului de repaus și la apariția unui potențial de acțiune. Acest potențial nu rămîne însă la locul unde s-a format, ci se propagă electrochimic, din aproape în aproape, de-a lungul membranei somato-dendritice, adică de-a lungul membranei corpului și a dendritelor pînă la locul de origine al axonului, unde va determina generarea unor impulsuri de intensitate maximă, ce se vor transmite cu o viteză constantă pînă la extremitatea terminală a axonului.

Neuronul funcționează deci cu un anumit prag. Dacă pragul nu este atins sau depășit, atunci neuronul nu va transmite nici un semnal de ieșire. Dacă pragul este atins sau depășit, atunci neuronul va transmite cu propria lui energie niște semnale de intensitate maximă. Creșterea intensității semnalelor de intrare peste acest prag nu va mai influența însă intensitatea sau viteza semnalelor emise

de neuron. Dependența apariției semnalelor de ieșire de atingerea sau de depășirea unui anumit prag, și independența intensității lor de variațiile ulterioare ale semnalelor de intrare, peste acest prag, au dus la formularea legii tot sau nimic, ceea ce ar vrea să însemne că neuronul ori transmite totul, ori nu transmite nimic. Acest lucru nu este însă adevărat decît în ceea ce privește amplitudinea semnalelor de ieșire, care ori au o amplitudine zero, ori au o amplitudine maximă. Dar dacă creșterea intensității semnalelor de intrare peste pragul de excitabilitate nu mai influențează în nici un fel amplitudinea semnalelor de ieșire ale neuronului, ea va influența însă frecvența lor. Cu cît intensitatea semnalelor de intrare va fi mai mare, cu atît va crește frecvența semnalelor de ieșire emise de neuron. Neuronul codifică deci intensitatea semnalelor de intrare în frecvența semnalelor de ieșire după formula: $f = k \log I$, unde f este frecvența semnalelor de ieșire, k este o constantă, iar I este intensitatea semnalului de intrare.

Această codificare este mult mai avantajoasă, dacă nu chiar singura codificare posibilă, într-un mediu în care semnalele de intrare pot varia în limite foarte largi. Dacă neuronul ar codifica semnalele în amplitudine, atunci s-ar putea să fie uneori nevoie de intensități care ar putea periclita integritatea sistemului. Pentru a evita și mai mult aceste situații și pentru a folosi cît mai bine procesul de codificare, neuronul folosește o codificare logaritmică. Așa spre exemplu, la o creștere de două ori a intensității semnalului de intrare, neuronul nu va crește semnalul de ieșire, sau mai bine zis frecvența semnalului de ieșire decît cu logaritm de 2, care este 0,3. Astfel, ochiul, urechea și toate celelalte organe de simț pot recepționa și transmite semnale între niște limite foarte largi.

Neuronul nu este deci un simplu element al sistemului nervos, deoarece sesizează și însumează semnalele de intrare, menține și modifică valoarea pragului de excitabilitate, generează și transmite semnalele de ieșire, neuronul este el însuși un adevărat sistem cibernetic în care se desfășoară o serie întreagă de procese de reglare (fig. 27).

Ajunse la extremitatea terminală a axonului, semnalele de ieșire sînt decodificate din modularea în frecvență și recodificate într-un cod chimic, formă sub care se transmit informațiile de la un neuron la altul. Ajunse la extremitatea terminală a axonului, potențialele de acțiune produc

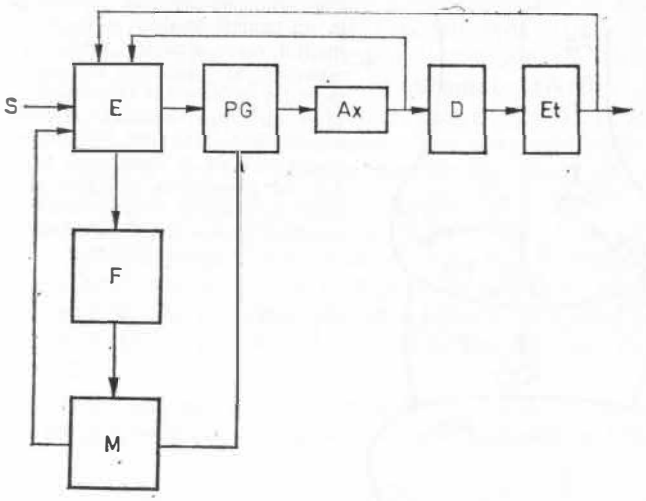


Fig. 27. Modelul cibernetic al neuronului (după C. Bălăceanu și Ed. Nicolau) *S*-semnale de intrare, *E*-capacitatea de însumare, *PG*-pragul de excitabilitate, *F*-filtrul, *M*-memoria, *Ax*-axonul, *D*-dispozitivul de decodare de la capătul axonului, *Et*-dispozitivul de tradus fenomenul electric în fenomen chimic pentru eliberarea mediatorilor sinaptici.

eliberarea în fanta sinaptică a unor substanțe chimice, denumite mediatori sinaptici, așa cum sînt acetilcolina, noradrenalina, dopamina și serotonina. La capătul terminal al axonului informațiile sînt trecute deci de pe semnalele electrochimice pe niște semnale chimice. Prin intermediul sinapsei, mediatorii chimici transportă informația pînă la receptorii de pe membrana neuronului următor, adică pînă la receptorii postsinaptici. Aici ei produc, ca și stimulii care au acționat asupra primului neuron, o depolarizare care se propagă, din aproape în aproape, pînă la locul de emergență a axonului unde va declanșa generarea unor potențiale de acțiune, ce se vor transmite de-a lungul axonului pînă la sinapsa cu neuronul următor și așa mai departe (fig. 28).

Toate semnalele culese de intero- și de exteroceptori sînt conduse astfel de-a lungul unor căi aferente spre sistemul nervos central. Semnalele sînt culese, sau mai bine zis preluate, de la celulele receptoare de către prelungirile dendritice ale unor celule nervoase și conduse centripet spre corpul neuronului situat fie în retină, fie în ganglionii

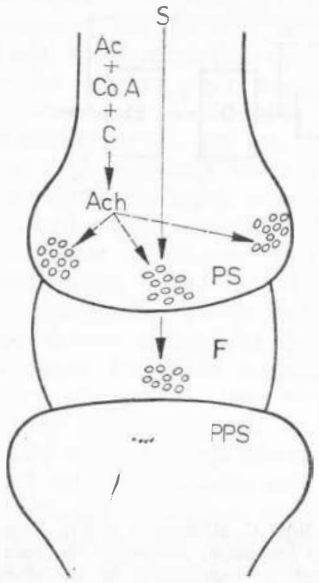


Fig. 28. Transmiterea informațiilor de la un neuron la altul se face prin intermediul unor sinapse. Ajuns la capătul terminal al axonului, impulsul nervos modulat în frecvență determină eliberarea unor mediatori chimici, așa cum este acetilcolina *Ach*, care ajunge prin fanta sinaptică *F* de la membrana presinaptică *PS* la membrana postsinaptică *PPS*, unde acționează asupra unor receptori specifici, producînd depolarizarea neuronului următor.

cranieni. În legătură cu dispoziția neuronilor în rețeaua nervoasă este important de remarcat că ei nu sînt răspîndiți difuz, ci sînt grupați, sînt aglomerați în diferite puncte ale rețelei. Aglomerările de neuroni din afara rețelei centrale, adică din afara sistemului nervos central, se numesc ganglioni, iar cele din interiorul rețelei se numesc nuclei. Așa se face că corpul celulelor nervoase care recepționează informațiile de la nivelul corpului și de la nivelul membrelor se află în ganglionii spinali, care tocmai de aceea se și numesc ganglioni senzitivi. Iar celulelor nervoase care recepționează informațiile de la nivelul capului se află în nucleii senzitivi ai nervilor cranieni, din creier. De la ganglionii spinali și de la ganglionii senzitivi ai nervilor cranieni, informațiile sînt conduse pînă la neuronul următor și așa mai departe pînă cînd, prin prelucrări succesive, semnalele de intrare sînt transformate în semnale de ieșire și îndreptate spre organele de execuție cele mai adecvate.

Sistemul nervos dispune deci de niște căi aferente, care conduc semnalele culese de organele de simț spre rețeaua nervoasă și de niște căi aferente, care conduc semnalele de ieșire de la rețeaua nervoasă spre organele de execuție. În cazul în care o cale aferentă se continuă direct cu o cale

eferentă, activitatea de prelucrare a informațiilor se reduce la codificarea, decodificarea și recodificarea succesivă a semnalelor de intrare pînă ajung la organele de execuție corespunzătoare. Astfel se desfășoară automat o serie întreagă de reflexe somatice și vegetative a căror cale aferentă se continuă direct cu calea eferentă. Așa spre exemplu, o excitație plecată de la fusurile neuromusculare, din tendonul mușchiului extensor, este condusă centripet de către dendritele neuronilor spinali spre ganglionii spinali și de aici centrifug spre neuronul motor din cornul anterior al măduvei spinării, care o trimite de-a lungul axonului său la mușchiul din tendonul căruia a plecat, închizînd astfel reflexul miotatic și producînd contracția mușchiului respectiv (fig. 29).

Astfel de reflexe se produc atît în măduva spinării, unde se închid reflexul miotatic, reflexele cutanate și reflexul

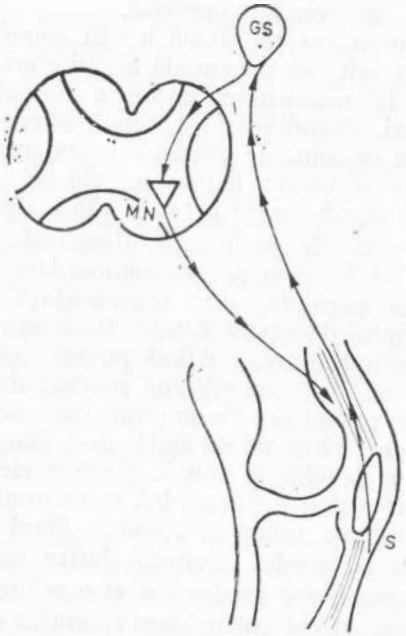


Fig. 29. Schema reflexului miotatic în care stimulul *S*, plecat de la nivelul receptorilor din tendonul mușchiului extensor, ajunge la nivelul ganglionului spinal *GS* și de aici la neuronul motor *MN* din coarnele anterioare ale măduvei spinării, care îl trimite înapoi la mușchiul extensor.

de micțiune, cît și la nivelul bulbului, unde se închide reflexul de vomă, cel salivar, respirator, cardiovascular și oculocardiac, la nivelul protuberanței, unde se închide reflexul de clipire, reflexul lacrimal, de masticație și de sugere, și la nivelul mezencefalului, unde se închid reflexele de acomodare și fotomotor.

În toate aceste cazuri excitația pe care a produs-o depolarizarea terminațiilor nervoase aferente se va transmite din aproape în aproape, pînă la locul de origine al axonului primului neuron. Dacă excitația, sau dacă suma excitațiilor, depășește un anumit prag, atunci neuronul declanșează apariția unor potențiale de acțiune, care vor avea o intensitate maximă și o frecvență variabilă în funcție de intensitatea excitației respective. Aceste potențiale de acțiune se vor transmite pînă la capătul terminal al axonului unde vor determina eliberarea unor pachete, a unor cuante de mediator sinaptic, care trecînd prin fanta sinaptică vor determina depolarizarea neuronului următor.

Cînd extremitatea terminală a căii aferente se continuă direct cu extremitatea proximală a căii eferente fenomenele se reduc deci la transmiterea în lanț a semnalelor de intrare, prin codificări, decodificări și recodificări succesive, pînă cînd ajung la organul de execuție corespunzător. Oricît de complicate ar fi aceste fenomene, ele se petrec automat și după niște reguli foarte precise, adică algoritmic.

Prima regulă de prelucrare algoritmică a semnalelor care pleacă de la fusurile neuromusculare ale tendonului rotulian, spre exemplu, este reprezentată de necesitatea depășirii pragului de excitabilitate. Dacă suma lor depășește pragul de excitabilitate, scăzînd potențialul de repaus cu cel puțin 15 mV, atunci ele vor genera, după niște reguli precise, niște potențiale de acțiune care se vor transmite cu o viteză de 120 m pe secundă, de-a lungul fibrelor senzitive, pînă la ganglionii spinali. De aici ele vor fi trimise, tot după niște reguli precise, pînă la neuronii alfa din coarnele anterioare ale măduvei spinării. Dacă mediatorii chimici eliberați la nivelul sinapsei dintre neuronul senzitiv și neuronul motor vor produce și ei o reducere a potențialului de repaus cu cel puțin 15 mV, atunci neuronul motor va genera niște potențiale de acțiune care se vor transmite cu o viteză de 120 m pe secundă pînă la fibrele mușchiului cvadriceps, care va produce extensia gambei.

Tot după reguli precise se realizează și reflexele somatice de reglare a compoziției sîngelui și a tensiunii arteriale. Variațiile tensiunii arteriale sînt sesizate de niște receptori de presiune, sau mai bine zis de întindere, situați în sinusul carotidian, în peretele aortei, precum și în mușchiul cardiac. Dacă întinderea produsă de creșterea tensiunii arteriale reușește să depășească pragul de excitabilitate, atunci terminațiile nervoase vor declanșa niște potențiale de acțiune, care se vor transmite cu o viteză de 25 m pe secundă de-a lungul nervului lui Hering și al nervului lui Ludwig-Cyon pînă la centrul vasomotor din bulb. Semnalele transmise vor fi proporționale cu mărimea tensiunii arteriale conform formulei: $f = k \log TA$, unde f este frecvența semnalelor transmise, k este o constantă, iar TA mărimea tensiunii arteriale. Aceste semnale vor fi transmise prin intermediul unor sinapse inhibitorii altor neuroni, care vor determina scăderea tensiunii arteriale. Dacă de la nivelul receptorilor periferici sosesc semnale generate de scăderea tensiunii arteriale, atunci semnalele generate de neuronii din nucleul vasomotor vor fi transmise de-a lungul fasciculului reticulo-spinal, pînă la nivelul centrilor simpatici medulari. De aici semnalele vor fi transmise, tot după niște reguli absolut precise, pe calea nervilor simpatici, pînă la nivelul vaselor sanguine determinînd contracția lor (51).

Deși reglarea reflexă este foarte utilă, ea nu este suficient de adecvată pentru păstrarea stabilității unui sistem atît de complex, cum este organismul uman, deoarece ea se desfășoară mai ales după starea semnalelor decît după starea sursei care le-a emis. Neținînd seama de întregul context al situației, ea poate fi de multe ori chiar periculoasă. De aceea excitanți neadecvați, cum ar fi traumatismele chimice sau fizice, pot determina — printr-o falsă informare a centrilor de reglare — scăderea tensiunii arteriale, așa cum se întîmplă de multe ori în infarctul miocardic.

De aceea reglarea reflexă trebuie supusă unui control superior. Așa spre exemplu, reflexul miotatic este supus unui control din partea substanței reticulate, care acționează asupra neuronilor gama din măduva spinrii. Iar centrul vasomotor este supus unui control din partea hipotalamusului și a scoarței cerebrale (7).

De aceea majoritatea semnalelor de intrare nu sînt trimise direct spre căile eferente. Intre căile aferente și căile

eferente se interpun o serie întreagă de neuroni de asociație. Dacă avem în vedere că sistemul nervos, care primește semnale de intrare prin intermediul a trei milioane de fibre aferente, este compus din 14 milarde de neuroni, înseamnă că fiecare semnal de intrare trebuie să treacă prin 5000 de neuroni de asociație înainte de a putea fi îndreptat spre o cale de ieșire. Neuronii de asociație îi oferă astfel sistemului nervos posibilitatea de a îndrepta orice semnal de intrare spre orice cale de ieșire, indiferent de calea pe care a intrat, făcînd posibilă o adaptare mult mai fină și mai nuanțată a organismului la mediul în care se află.

De aceea, procesul de encefalizare, început încă de la viermi prin apariția ganglionului cerebroid, s-a făcut mai ales pe seama neuronilor de asociație, al căror număr a crescut enorm de mult.

Peste structurile vechi s-au adăugat treptat structuri noi. Peste encefalul reptilelor reprezentat în cea mai mare parte de corpii striați, adică de nucleii de la baza emisferelor cerebrale, s-a adăugat treptat scoarța cerebrală, mai întîi paleocortexul și apoi neocortexul care la om este de 20 de ori mai dezvoltat decît paleocortexul.

Odată cu apariția scoarței cerebrale, neuronii nu se mai organizează în nuclei, așa cum erau organizați în formațiunile mai vechi, ci în straturi. Soarța cerebrală a omului este organizată în șase straturi. Stratul I, plexiform sau molecular, conține mai puține celule și mai multe prelungiri. Stratul II, granular extern, conține celule granulare și celule piramidale mici. Stratul III conține celule piramidale mijlocii. Stratul IV, sau granular intern, conține celule stelate. Stratul V conține, pe lîngă celulele piramidale mici și mijlocii, și niște celule piramidale mari. Stratul VI conține celulele fusiforme. În scoarța cerebrală se află deci mai multe feluri de neuroni: celule piramidale, de mărimi care pot varia între 10 și 70 microni, celule stelate, celule de formă rotundă, cu dendrite foarte ramificate și cu axon scurt, celule fusiforme mici și alungite, celule orizontale Cajal, mici și cu nucleu mare, celule Martinotti, cu axoni care se ramifică la suprafața scoarței și în sfîrșit, celule polimorfe (59).

Prin apariția și prin dezvoltarea scoarței cerebrale, care cu cei peste 10 miliarde de neuroni, conține aproape două treimi din neuronii întregului sistem nervos, creierul a ajuns să fie, după cum remarcă E. Pamfil (105), supradimensionat. Singurul organ insuficeent dezvoltat, la sfîrșitul erei terțiare, era, după remarcă J. Huxley, creierul. Toate celelalte organe atinseseră aproape perfecțiunea. Pentru a atinge și el perfecțiunea, creierul s-a dezvoltat foarte mult. De la cei 600 cm^3, cît avea creierul australopitecului, el a crescut destul de rapid pînă la 1450 cm^3 cît are creierul lui Homo sapiens.

Această supradimensionare nu s-a făcut însă atît pe seama căilor aferente sau eferente, cît pe seama neuronilor intermediari, de asociație, care se intercalează între căile aferente și căile eferente. În scoarța cerebrală nu se poate vorbi, după cum arată A. Kreindler (59), de un strat receptor, adică aferent și de un strat efector, adică eferent. În scoarța cerebrală transmiterea informațiilor de la căile aferente la căile eferente nu se face direct, ci prin circuite de complexitate crescîndă, în care se intercalează o mulțime de neuroni. Fiind formată din 10 miliarde de neuroni de asociație, scoarța cerebrală oferă sistemului nervos libertatea de a conduce semnalele de intrare pe foarte multe căi posibile.

Sistemul nervos dispune deci de două feluri de căi în funcție de libertatea ce li se oferă semnalelor care sînt conduse prin ele. El dispune pe de o parte de niște căi aferente, pe care informația culeasă dintr-un anumit punct este obligată să le parcurgă, fără nici o altă posibilitate de alegere. O excitație algică, spre exemplu, recepționată de la nivelul policelui, de către dendritele neuronilor din ganglionii spinali, este obligată să parcurgă fasciculul spino-talamic pînă la talamus, fără nici o altă posibilitate de alegere. Sistemul nervos mai dispune, pe de altă parte, de niște căi eferente, pe care un stimul odată angajat, trebuie să le parcurgă, de asemenea, fără nici o altă posibilitate de alegere. De aceea un stimul ajuns la o celulă piramidală mare, care trimite influxul nervos de la ariile motorii ale scoarței cerebrale spre fibrele musculare, va trebui să străbată în mod obligatoriu unicul drum posibil pînă la mușchiul respectiv.

Așa cum în restul sistemului nervos există nuclei senzitivi și nuclei motori, tot așa și la nivelul scoarței există arii senzitive și arii motorii. Reprezentarea senzitivă și motorie a diferitelor porțiuni ale corpului pe scoarța cerebrală este proporțională cu utilitatea și cu utilizarea lor. Astfel, mîna are o reprezentare corticală mult mai mare decît alte porțiuni ale corpului. Schițînd reprezentarea sen-

zitivă și motorie a diferitelor porțiuni ale corpului pe ariile senzitive și motorii ale scoarței cerebrale. W. Penfield a obținut un homunculus motor și un homunculus senzitiv (fig. 30).

Un stimul plecat de la o celulă piramidală, care ar corespunde policelui pe homunculusul motor al lui W. Penfied, va trebui să străbată în mod obligatoriu axonul ei pînă la neuronul intercalar din coarnele anterioare ale măduvei spinării și de aici la neuronul motor periferic din măduva spinării, care îl va transmite mereu aceluiași mușchi al policelui.

Dar pe lîngă aceste căi aferente și eferente, unidirecționale și relativ rigide, în care un stimul odată intrat trebuie să le parcurgă în mod obligatoriu, fără nici o altă posibilitate de alegere, sistemul nervos mai dispune și de niște căi multidirecționale care, interpunîndu-se între căile unidirecționale, pot conduce de la răspunsurile stereotipe ale reflexelor la niște răspunsuri mult mai nuanțate și mai adecvate la diversitatea și complexitatea mediului extern. La aceste căi multidirecționale se ajunge cu ajutorul neuronilor de asociație prin intermediul cărora se trece de la redundanța structurală reprezentată de cele 14 miliarde de neuroni la redundanța combinatorie reprezentată de numărul mult mai mare al combinațiilor posibile care apar prin legarea între ei a acestor neuroni. Cei aproximativ 7×10^9 neuroni din cortexul uman pot realiza aproximativ $10^{2783000}$ de circuite (95), în timp ce galaxia noastră nu are mai mult

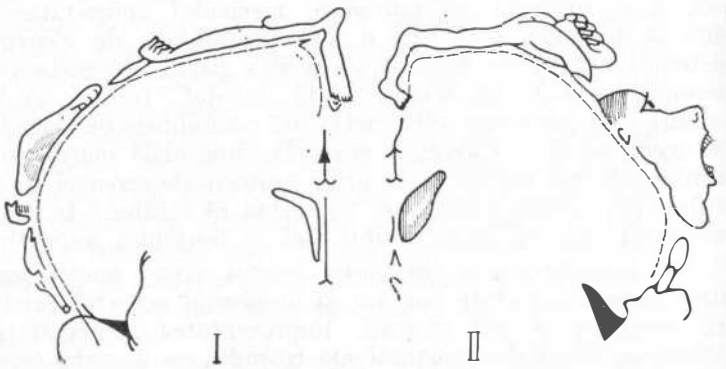


Fig. 30. Homunculusul senzitiv I și motor II arată că organele care au un rol mai mare în relațiile organismului cu mediul au o reprezentare mai bogată pe scoarța cerebrală.

de 10^{72} atomi. Apariția acestui mare număr de circuite a fost necesară pentru a putea face față complexității și variabilității fenomenelor, adică pentru a putea conduce fiecare semnal pe calea cea mai adecvată în funcție de situațiile foarte variabile în care el ar putea apărea. De aceea semnalele primite nu mai sînt trimise direct spre căile eferente. Ele sînt trimise spre neuronii de asociație din această complicată rețea.

Formațiunile mai vechi, cum sînt măduva, bulbul, protuberanța și mezencefalul, nu au numai funcția de a îndeplini reacțiile reflexe, ci și funcția de conducere a informațiilor primite spre formațiunile mai înalte ale sistemului nervos. În formațiunile mai înalte, cum ar fi diencefalul, acea prelungire a trunchiului cerebral care ajunge pînă sub emisferele cerebrale (formată și ea la rîndul ei din mai multe formațiuni, cum sînt hipotalamusul, subtalamusul, metatalamusul și talamusul), începe o integrare a semnalelor primite pe diferite căi. Cu excepția sensibilității olfactive, toate căile aferente fac sinapsă în diencefal. Astfel, fasciculul spino-talamic anterior ce conduce sensibilitatea tactilă, fascicolul spino-talamic lateral ce conduce sensibilitatea termică și dureroasă, lemniscul median ce conduce sensibilitatea proprioceptivă conștientă, lemniscul trigeminal ce conduce sensibilitatea de la nivelul feței, fibrele căii gustative și o parte din fibrele optice, fac sinapsa în talamus. Iar fibrele căii optice și acustice fac sinapsa în corpii geniculați mediani și laterali din metatalamus. Toate aceste semnale sînt îndreptate deci spre formațiunile mai înalte ale sistemului nervos pentru a fi reintegrate. Reintegrarea este necesară, după cum arată C. S. Sherrington (1777), deoarece receptorii periferici nu sesizează și nu transmit decît aspecte unilaterale și fragmentare din diversitatea și unitatea lumii înconjurătoare. Iar sistemul nervos nu poate ajunge la deciziile cele mai adecvate pentru reglarea unui sistem foarte complex doar pe baza unor semnale atît de parțiale.

Pentru a putea realiza reglarea unui sistem atît de complex, cum este organismul uman, sistemul nervos are nevoie de foarte multe informații. Informația este materia primă a creierului (125), care — spre deosebire de alte organe profilate pe prelucrarea substanței și energiei — s-a profilat pe prelucrarea informației (145). Complexitatea derivă însă din faptul că sistemul nervos nu primește direct informația de care are nevoie (160). El nu primește din afară decît niște semnale. Este adevărat că semnalele respective sînt purtă-

toarele informației. Dar ele nu pot fi totuși confundate cu informația pe care o poartă, deoarece semnale asemănătoare pot aduce informații foarte diferite, iar semnale diferite pot aduce informații asemănătoare. Așa spre exemplu, dacă un semnal emis de o sursă care poate emite trei semnale aduce o informație de 1,5 biți, același semnal dacă va fi emis de o sursă care poate emite numai două semnale va aduce o informație de un bit.

Informația depinde mai mult de structura sursei decît de structura semnalului care o transportă. Acest lucru poate fi subliniat și de faptul că, fiind partea cea mai comunicabilă a realității, informația poate trece de pe un semnal pe altul. De aceea numeroasele semnale pe care le primește în permanență sistemul nervos nu reprezintă decît niște mijloace de transmitere a informației. Iar sistemul nervos va trebui să le supună unor prelucrări foarte complicate pentru a putea descoperi informația pe care o aduc, adică starea sursei care le-a emis (158).

Dar pentru că prin căile sale de comunicație, sistemul nervos nu poate transmite semnale termice, acustice sau luminoase, el trebuie să treacă, mai întîi semnalele primite la nivelul receptorilor periferici, pe niște stimuli nervoși, pe trenurile de undă, cum li se mai spune succesiunilor de stimuli nervoși. Aceste trenuri de undă sînt generate și transmise pe cheltuiala energetică a sistemului. De aceea creierul consumă o mare cantitate de energie. Deși este un organ informațional și nu cîntărește decît 2% din greutatea organismului, el consumă 20% din cantitatea de oxigen (9). Fiind obligat să realizeze în permanență cel puțin o anumită reglare internă, creierul are în permanență un metabolism foarte ridicat, care nu crește decît cu 4% în timpul unei activități intelectuale. Cu ajutorul acestei cheltuieli energetice creierul dobîndește, pe lîngă bariera hemato-encefalică, care oprește intrarea în sistemul nervos a substanțelor străine, și o barieră energetică, care oprește intrarea în sistemul nervos a energiilor străine.

Toate procesele care se desfășoară în sistemul nervos se produc cu propria sa energie. Energia pe care o aduc semnalele nu realizează decît trecerea elementelor instabile de la nivelul receptorilor periferici, cum ar fi rodopsina, dintr-o stare în alta. Restul proceselor se desfășoară pe cheltuiala energetică a sistemului. De aceea intensificarea proceselor informaționale este întovărășită și de intensificarea proceselor metabolice. Iar pentru că intensificarea proceselor metabolice presupune și intensificarea irigației sanguine, devine posibil studiul proceselor informaționale prin intermediul intensității debitului sanguin în diferitele formațiuni cerebrale (53).

Fiind generate de niște semnale unilaterale, trenurile de undă care sînt transmise de-a lungul căilor aferente nu reflectă deci decît niște aspecte parțiale ale realității înconjurătoare. Cele care se transmit de-a lungul căii optice nu reflectă decît variațiile undelor de lumină, iar cele care se transmit de-a lungul căii acustice nu reflectă decît variațiile undelor acustice.

Pornind de la aceste trenuri de undă cu o încărcătură informațională destul de săracă, sistemul nervos va trebui să descopere însă informațiile de care are nevoie pentru reglarea comportamentului uman. Desigur că informația pe care o va descoperi sistemul nervos este cuprinsă în trenurile de undă care sosesc de la receptorii periferici. Dar ea nu este cuprinsă în unul sau în altul din aceste trenuri, ci în modul în care se combină între ele. De aceea, pentru a putea descoperi informația pe care o aduc trenurile de undă, sistemul nervos va trebui să recunoască diferitele combinații posibile. Iar recunoașterea diferitelor combinații posibile se face prin intermediul procesului de superizare, adică de trecere de la o mulțime de semnale elementare la un semnal superior, cum ar fi trecerea de la o mulțime de litere la un cuvînt, de la o mulțime de cuvinte la o propoziție, de la o mulțime de propoziții la o frază, de la o mulțime de fraze la o idee și așa mai departe (167).

Cu ajutorul procesului de superizare, sistemul nervos realizează o recunoaștere secvențială, corespunzătoare structurii sistemice a mediului înconjurător, care este format dintr-o mulțime de sisteme formate la rîndul lor dintr-o mulțime de subsisteme și așa mai departe. Iar sistemul nervos caută să recunoască starea sursei care a emis semnalele respective, tocmai prin reintegrarea într-un sistem a semnalelor emise de subsistemele sursei respective. Așa spre exemplu, sistemul nervos va recunoaște un tablou plecînd de la subsistemele, adică de la punctele, liniile și figurile din care el este alcătuit. Pentru a putea recunoaște starea sursei de emisie, el trebuie să reintegreze semnalele elementare, în subsisteme din ce în ce mai înalte, cum ar fi punctele în linii, liniile în figuri și figurile în concepția tabloului res-

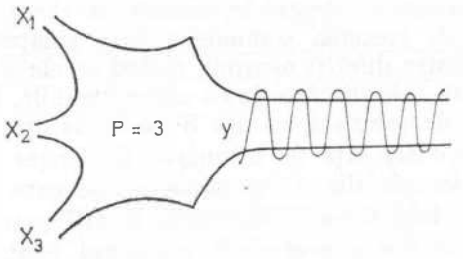
pectiv. El va trebui deci să treacă treptat de la semnalele interioare la semnale superioare, sau de la semne la supersemne. De aceea, procesul de integrare prin trecerea succesivă de la o mulțime de semnale inferioare la un semnal superior a fost denumit proces de superizare (17,37, 72).

Desigur că pentru a putea desfășura acest proces, sistemul nervos trebuie să dispună de o structură și de programele corespunzătoare. Noi am arătat că el dispune de o astfel de structură (167). Neuronii din care este format reprezintă în mod normal, împreună cu intrările și ieșirile lor, niște circuite logice capabile să treacă de la o mulțime de semnale inferioare la un semnal superior.

Așa spre exemplu, un neuron cu un prag de excitabilitate care nu poate fi depășit decît dacă primește semnale pe toate căile de intrare, formează împreună cu prelungirile sale un circuit logic conjunctiv (fig. 31). El nu va emite semnale de ieșire decît dacă primește semnale pe toate căile de intrare. Iar semnalul pe care îl emite atunci cînd primește semnale pe toate căile sale de intrare va fi un semnal de ordin superior. Dacă semnalele de intrare vor reprezenta niște litere, atunci semnalul de ieșire va reprezenta o silabă sau un cuvînt.

Iar dacă semnalul de ieșire al neuronului respectiv va reprezenta un semnal de intrare pentru un alt neuron și așa mai departe, atunci rețeaua neuronală care ia naștere va realiza recunoașterea, prin superizări succesive, a sursei care a emis semnalele respective (fig. 32).

Pentru a lua naștere o astfel de rețea neuronală, adică pentru ca neuronii să nu emită semnale de ieșire decît atunci cînd primesc o anumită combinație de semnale de intrare, este necesar, mai întîi, un proces de structurare a rețelei neuronale. Acest proces este posibil datorită faptului că semnalele primite de la diferitele surse influențează metabolismul diferitelor substanțe, cum ar fi acizii nucleici (52) sau proteinele (190). G. Ungar (190) arată, în acest sens, că baza moleculară a memoriei este reprezentată de niște proteine specifice, cu o greutate moleculară de aproximativ 1000. De aceea puromicina și actinomicina, care blochează sinteza proteinelor, îngreuiază procesul de învățare a refle-



X_1	X_2	X_3	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	1	0
1	1	1	1

Fig. 31. Un neuron care are trei intrări și un prag de excitabilitate P care nu poate fi depășit decît de suma celor trei intrări va forma un circuit logic conjunctiv, care, după cum se vede în tabelul de adevăr, nu va emite un semnal de ieșire y decît atunci cînd primește toate semnalele de intrare

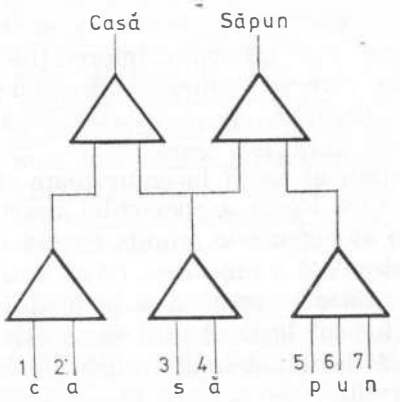


Fig. 32. Dacă semnalul de ieșire al unui neuron este trimis ca semnal de intrare către alt neuron se poate realiza o superizare succesivă a semnalelor primite și recunoașterea sursei care le-a emis în toată complexitatea ei. Dacă neuronii reprezentați în figură primesc semnalele 1—4, atunci circuitul neuronal va emite semnalul superior cuvîntului casă, iar dacă primesc semnalele 3—7, va emite semnalul superior corespunzător cuvîntului săpun.

xelor condiționate. Peptidele acestea, a căror sinteză este declanșată de trecerea semnalelor prin sinapsă, ar stabili legăturile dintre diferiți neuroni, făcînd ca ele să fie conduse pe o anumită cale din mulțimea căilor posibile. Din creierele cîtorva mii de șobolani, cărora li s-a indus prin reflexe condiționate repulsia față de întuneric, G. Ungar a extras un polipeptid format din 15 aminoacizi, pe care l-a denumit scotofobina. Injectarea scotofobinei la alți șoareci, care au după cum se știe o preferință înnăscută pentru întuneric, a determinat o repulsie față de întuneric. Tot în acest sens, H. Hyden (52) a constatat că excitarea aparatului vestibular, adică a receptorilor care sesizează poziția organismului, spre exemplu prin obligarea șobolanilor să se balanseze pe o sîrmă înainte de a ajunge la hrană, crește cu 25% cantitatea de ARN din nucleul vestibular, la care ajung semnalele culese de aparatul vestibular.

Prin influențele pe care le exercită asupra metabolismului, semnalele emise de diferite surse nu pot să nu influențeze și pragurile de excitabilitate și transmiterea sinaptică, ducînd astfel la selecționarea și la combinarea în diferite feluri a circuitelor logice, de care dispune în mod potențial sistemul nervos. Astfel, sistemul nervos este un organ, sau mai bine zis singurul organ, capabil să se structureze și să se restructureze sub influența informațiilor primite. Iar circuitele logice care se formează sub influența semnalelor primite devin capabile să recunoască apoi în semnalele respective sursa care le-a emis.

Modelul intern al lumii înconjurătoare este reprezentat astfel în structura logică a sistemului nervos (148). Influența pe care o au semnalele primite asupra metabolismului, adică baza moleculară a memoriei, nu ar avea nici o valoare dacă ea nu ar duce la apariția și la modificarea unor circuite logice. Modelul logic al unei surse este cuprins într-o rețea neuronală de forma unui trunchi de con, cu baza la nivelul receptorilor, de la care pleacă semnalele aferente și care prin superizări succesive se tot restrînge treptat pînă ajunge la nivelul scoarței cerebrale.

Modelele interne se întrepătrund însă foarte mult, deoarece un neuron poate aparține în același timp mai multor

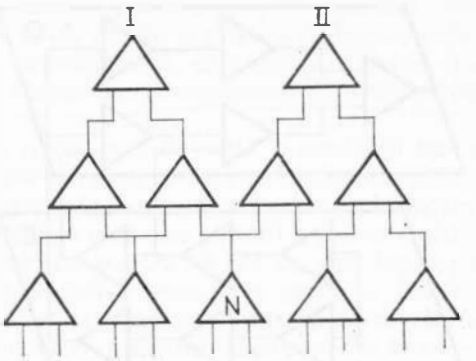


Fig. 33. Neuronul N aparține în același timp atît modelului I, cît și modelului II, care devin astfel niște modele vagi.

modele interne (fig. 33). Modelele interne devin astfel niște mulțimi vagi ale căror elemente nu le aparțin în totalitate, ci doar în anumite grade (200). Tocmai pentru că neuronii pot aparține mai multor modele interne, memoria, învățarea, ca și conștiința, nu pot fi localizate într-o anumită porțiune a sistemului nervos.

Între unitățile funcționale de la nivelul scoarței, capabile de a recunoaște o anumită sursă, se stabilesc apoi o mulțime de legături. Acestea vor reprezenta modelul relațiilor dintre diferitele surse. Iar legăturile care se stabilesc între circuitele care stabilesc relațiile dintre diferitele surse vor reprezenta modelul relațiilor dintre relații și așa mai departe pînă la nivelul modelelor logico-matematice care reține mai ales regulile și legile de desfășurare a fenomenelor (fig. 34). Cu ajutorul acestor modele sistemul nervos poate recunoaște nu numai starea surselor, ci să prevadă — pe baza relațiilor de cauzalitate — și evoluția lor. Aceasta îi oferă posibilitatea de a regla starea elementelor nu numai în funcție de evenimentele care s-au produs, ci și în funcție de evenimentele care s-ar putea produce, ceea ce este extrem de necesar pentru funcționarea mecanismului de *feed-before*.

Rețelele neuronale capabile să recunoască și chiar să anticipeze evoluția fenomenelor funcționează de obicei automat și inconștient. Semnalele elementare care sosesc de la nivelul organelor de simț antrenează în mod automat anumite circuite logice. Semnalele de ordin superior care ies din aceste circuite logice vor antrena și ele în mod auto-

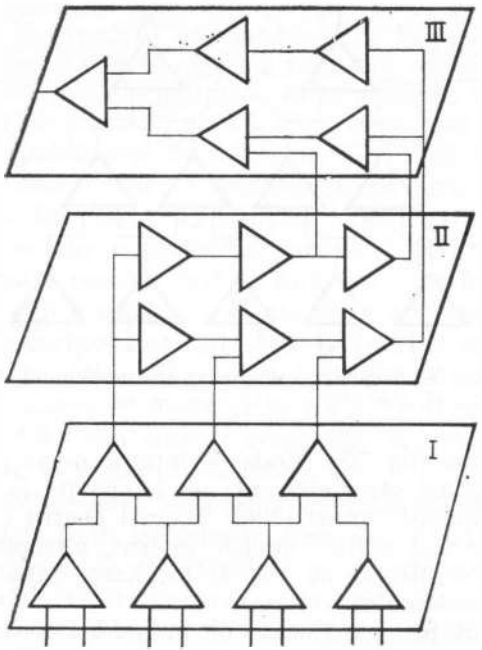


Fig. 34. Reprezentarea schematică a modului în care iau naștere modelele interne ale sistemului nervos sub influența semnalelor pe care le primește din afară. Mai întîi apar modelele obiectelor și fenomenelor I, apoi modelul relațiilor dintre ele II, iar apoi modelul relațiilor dintre relații III.

mat circuitele logice următoare și așa mai departe pînă la rezolvarea problemei pe care o pun semnalele respective.

Pe măsură ce parcurg diferitele circuite logice, în cadrul procesului de superizare, semnalele devin treptat semne. Semnele nu mai reprezintă numai un mijloc de transmitere M a informațiilor, ci și relația R care se stabilește între mijloacele M sau mai bine zis între sursa O care le-a emis și sistemul S care le recepționează. Adică semnalul devine: semnal $= R\ (M, O, S)$, după cum arată M. Bense (17). În felul acesta semnalele încep să cîștige o anumită semnificație. Iar ceea ce ajunge de fapt la nivelul conștiinței nu va mai fi un număr imens de semnale inferioare, ci un număr mult mai mic de semne superioare, de supersemne, de imagini și idei. Condensînd cei 10^7 biți care sosesc în fiecare secundă de la nivelul organelor de simț, în cei 16 biți care sînt

trimiși pînă la nivelul conștiinței (37), procesul de superizare reprezintă și un foarte bun mijloc de protecție antiinformațională a organismului, care apără nivelele mai înalte ale sistemului nervos de o supraîncărcare cu semnale elementare.

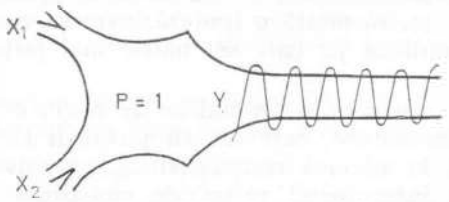
De cele mai multe ori, datorită diversității fenomenelor, procesul de superizare nu se poate desfășura chiar atît de simplu și de automat, fie pentru că circuitele logice nu primesc toate semnalele necesare pentru a putea emite semnale de ordin superior, fie pentru că ele nu sînt încă structurate pentru a putea superiza semnalele primite. Încertitudinea care apare în aceste cazuri este sesizată la nivelul conștiinței care supraveghează procesul de superizare în sensul rezultatelor la care ajunge sau ar trebui să ajungă. Dacă procesul de superizare nu poate duce la niște semnale de ordin superior, atunci sistemul va căuta conștient informații suplimentare, atît în memoria sa, cît și în mediul extern pe care îl va explora mult mai sistematic. Va efectua observații și experiențe adecvate. Dacă nici semnalele culese ulterior nu vor putea fi superizate, atunci vor fi conduse și ele pînă la nivelul conștiinței, care este indisolubil legată de modelul relațiilor dintre diferitele obiecte și fenomene. De aceea la nivelul conștiinței semnalele sînt prelucrate în funcție de relațiile pe care le au sau le-ar putea avea cu celelalte semnale. În felul acesta sistemul caută să găsească o cale de ieșire, să emită o ipoteză, care să rezolve cît mai bine incertitudinea pe care semnalele mai puțin cunoscute au creat-o.

De aceea nu numai semnalele de ordin superior, ci și semnalele elementare, care nu au putut fi superizate, pot ajunge pînă la nivelul conștiinței. Iar rezolvarea incertitudinii prin intermediul prizei de conștiință influențează apoi structura logică a sistemului nervos pentru a efectua superizarea în funcție de ipotezele elaborate. De aceea unele metode de psihoterapie caută să conștientizeze conflictele interne pentru a putea ajunge la rezolvarea lor.

Fiind însă un sistem dinamic, care se află în mijlocul unor alte sisteme dinamice, creierul trebuie să ia în considerare și factorul timp. Cu ajutorul proprietății de remanență, neuronii au posibilitatea de a emite un semnal de ieșire nu numai atunci cînd semnalele de intrare sosesc simultan, ci și atunci cînd semnalele de intrare sosesc succesiv, la anumite intervale de timp. În felul acesta, sistemul nervos

nu dispune numai de circuite logice organizate în spațiu, ci și de circuite logice organizate în timp, deoarece unii neuroni vor emite semnale de ieșire și atunci cînd primesc o anumită succesiune de semnale la scurt interval de timp. Sistemul nervos dobîndește astfel, pe lîngă dimensiunea sa spațială, și o importantă dimensiune temporală. Fără această dimensiune temporală mesajele acustice, spre exemplu, care se succed la anumite intervale de timp, nu ar putea fi superizate.

De multe ori însă, nici prin căutarea de noi informații în memorie și nici prin căutarea de noi informații în mediul extern, sistemul nu ajunge totuși să dispună de toate semnalele necesare circuitelor logice conjunctive pentru a putea desfășura procesul de superizare. Pentru a face posibilă desfășurarea lui și în aceste situații care sînt destul de frecvente, sistemul nervos trebuie să apeleze și la alți operatori logici, care derivă și ei din proprietățile naturale ale neuronilor. Așa spre exemplu, un neuron cu un prag care poate fi depășit de oricare din intrările sale, va forma un circuit logic de disjuncție care va emite un semnal de ieșire la primirea unuia sau altuia dintre semnalele de intrare (fig. 35). Neuronul care are pe lîngă intrările excitatoare și niște intrări inhibitoare va forma un circuit logic de negație, în care intrările inhibitoare vor putea anula intrările

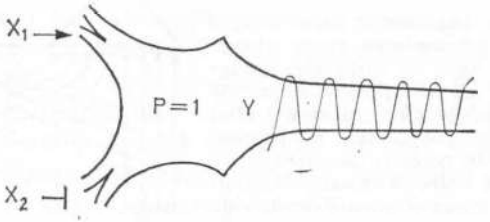


X_1	X_2	Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Fig. 35. Un neuron cu pragul de excitabilitate P, care poate fi depășit de oricare dintre intrările sale, va emite un semnal de ieșire y sau va primi unul sau altul dintre semnalele de intrare, devenind astfel un circuit logic disjunctiv.

excitatoare. Datorită faptului că pot avea pînă la 100 000 de semnale de intrare (58), unii neuroni pot forma circuite logice conjunctivo-disjunctive, sau chiar conjunctive, disjunctive și de negație în același timp. Dacă pragul de excitabilitate nu poate fi depășit decît de mai multe din intrările sale, atunci neuronul va forma împreună cu intrările respective un circuit logic conjunctiv. Dar nefiind vorba de anumite intrări, ci doar de necesitatea depășirii unui anumit prag, oricare din combinațiile posibile vor putea depăși acest prag vor determina emiterea unui semnal de ieșire, neuronul formînd astfel un circuit logic disjunctiv. Dar pentru că semnalele primite prin intermediul sinapselor inhibitoare vor putea anula semnalele primite prin intermediul sinapselor excitatoare, neuronul va funcționa în același timp și ca circuit logic de negație (fig. 36). Aceste circuite logice sînt necesare mai ales pentru elaborarea modelului privind relațiile, foarte complicate, dintre diferitele obiecte și fenomene.

Dar nici cu ajutorul acestor operatori logici, sistemul nervos nu reușește să prelucreze de cele mai multe ori semnalele incomplete pe care le primește. De aceea pentru a putea selecționa semnalele de ieșire corespunzătoare sistemul nervos trebuie să apeleze de obicei și la circuitele logice de disjuncție exclusivă, la care se ajunge prin intermediul unor sinapse inhibitoare încrucișate. Dacă toate sem-



X	X	Y
1	0	1
0	1	0
1	1	0
0	0	0

Fig. 36. Un neuron care are și sinapse inhibitoare poate funcționa ca un circuit logic de negație, deoarece semnalele inhibitoare pot anula semnalele primite prin intermediul sinapselor excitatoare.

nalele de intrare, care sosesc la un neuron, sînt trimise sub forma unor sinapse inhibitoare către un alt neuron, ele vor putea anula semnalele de intrare ale neuronului respectiv. Iar dacă acesta trimite şi el, la rîndul său, semnalele sale de intrare prin intermediul unor sinapse inhibitoare încrucişate celuilalt neuron, atunci neuronul care a primit mai multe semnale de intrare va putea anula semnalele neuronului care a primit mai puţine semnale de intrare (fig. 37). Circuitele logice de disjuncţie exclusivă oferă astfel sistemului nervos posibilitatea de a selecţiona semnalul de ieşire cel mai probabil. Cu ajutorul circuitelor logice de disjuncţie exclusivă sistemul nervos trece de la logica bivalentă, în care nu existau decît două valori posibile, de fals şi de adevăr, la o logică polivalentă în care există o mulţime de valori probabile. Dacă circuitele conjunctive emit un semnal de ieşire numai atunci cînd primesc toate semnalele de intrare necesare (adică funcţionează după legea tot sau nimic, prezent sau absent, adevărat sau fals), circuitele logice de disjuncţie exclusive pot emite semnale de ieşire şi în situaţii

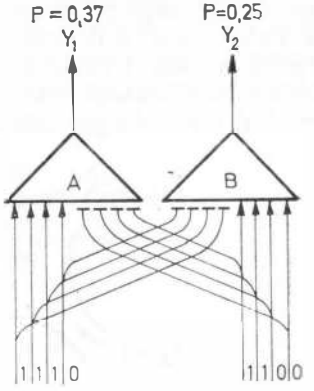


Fig. 37. Prin intermediul unor sinapse inhibitoare încrucişate se poate ajunge la un circuit logic de disjuncţie exclusivă, capabil să selecţioneze semnalele cele mai probabile chiar şi atunci cînd circuitele logice conjunctive nu primesc toate semnalele necesare pentru a emite un semnal de ieşire cu valoare de certitudine. Dacă probabilitatea P depinde de raportul dintre numărul de evenimente favorabile m şi numărul tuturor evenimentelor posibile n, adică $P=m/n$, atunci probabilitatea ca neuronul A care primeşte trei semnale de intrare să emită un semnal de ieşire y^1 va fi $P=3/8=0,37$, iar probabilitatea ca neuronul B să emită un semnal de ieşire y_2 va fi $P=2/8=0,25$. Sinapsele inhibitorii încrucişate ale neuronului A vor reuşi să anuleze intrările neuronului B, selecţionînd astfel semnalul y_1 care este cel mai probabil.

A				B					
X_1	X_2	X_3	X_4	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1	Y_2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	0	1	1	0
0	0	0	1	0	0	1	1	0	1
0	0	1	1	0	1	1	1	0	1
0	1	1	1	0	0	1	1	1	0

intermediare, funcţionînd deci cu o serie întreagă de valori, ceea ce face ca deciziile la care se ajunge să fie mult mai nuanţate. Plecînd de la o premisă adevărată şi o premisă posibilă, circuitele logice care lucrează cu mai multe valori vor putea ajunge la o decizie posibilă, aşa cum se întîmplă în logica polivalentă a lui Luckasiewicz (35).

Lucrînd cu o logică probabilistă, polivalentă, sistemul nervos va putea recunoaşte diferitele obiecte şi fenomene şi în ipostazele lor mai puţin caracteristice. Lucrînd cu probabilităţi, el poate aprecia cantitatea de informaţie pe care o aduc fenomenele respective, poate aprecia, poate anticipa nu numai evoluţia fenomenelor strict determinate, ci şi evoluţia fenomenelor întîmplătoare.

Deşi omul este conştient mai mult de aspectul calitativ al informaţiei, adică de obiectele şi fenomenele pe care le recunoaşte în semnalele primite, el apreciază în acelaşi timp şi aspectul cantitativ al informaţiei. Acest lucru poate fi demonstrat de faptul că semnale asemănătoare sînt prelucrate diferit în funcţie de cantitatea de informaţie pe care o aduc. Semnalele care aduc o informaţie mai mare sînt conduse pe căi mai lungi, deoarece apărînd dintr-un repertoriu mai mare de obiecte şi fenomene vor antrena un număr mai mare de circuite logice pentru superizare şi prelucrare(158).

Desigur că informaţia descoperită de sistemul nervos nu poate fi absolut identică cu informaţia emisă de sursă, deoarece nici probabilităţile subiective, cu ajutorul cărora sistemul nervos determină mărimea informaţiilor pe care le descoperă, nu sînt absolut identice cu probabilităţile obiective de desfăşurare a fenomenelor. Probabilităţile logice şi subiective depind de modul în care semnalele primite au influenţat structura logică a sistemului nervos, dar şi de factorii motivaţionali şi afectivi, care fac ca anumite semnale să fie supraapreciate în defavoarea altora. Cu cît informaţia descoperită va fi mai mare, cu atît ea va necesita o reajustare mai mare a mecanismelor de reglare pentru a putea readapta sistemul la noua situaţie. Şi pentru că readaptarea presupune un anumit risc, informaţia este anxiogenă (118). Atunci cînd sistemul poate prevedea însă dinainte, cu ajutorul probabilităţilor subiective şi al relaţiilor de cauzalitate dintre fenomene, cuprinse în modelul relaţiilor, apariţia unor semnale, acestea vor deveni redundante. Sem-

nalele redundante, putînd fi dinainte prevăzute, nu mai aduc nici o noutate. Ele nu necesită reajustarea mecanismelor de reglare, indicînd chiar că ele funcționează normal. De aceea redundanța este sedativă (166).

O anumită cantitate de redundanță este absolut necesară, nu numai pentru combaterea anxietății, ci și pentru interpretarea semnalelor care aduc noutatea generată de mediu. Fără o anumită cantitate de redundanță nu poate fi interpretată noutatea pe care o aduc diferitele semnale. Creierul nu poate interpreta semnalele care nu conțin o anumită cantitate de redundanță, deoarece nu dispune de criteriile după care să poată îndrepta semnalele respective pe anumite căi. Redundanța este cea care indică drumul pe care trebuie conduse semnalele noi și mai puțin cunoscute (fig. 38). De aceea arta abstractă, care aduce o informație foarte mare și o redundanță foarte mică, este foarte greu de interpretat (72). Sistemul nervos caută însă să reducă noutatea derutantă pe care i-o aduc diferitele semnale. El caută să descopere o anumită redundanță cu care să tragă pe un anumit drum și semnalele neredundante, care aduc o noutate foarte mare. Prin descoperirea redundanței pe care o aduc diferitele semnale se stabilește, spre exemplu, reflexul condiționat, în care asocierea unor sem-

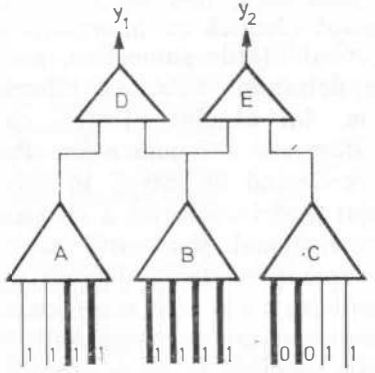


Fig. 38. Semnalele redundante sînt necesare pentru a îndrepta semnalele mai puțin cunoscute pe căile cele mai adecvate. Semnalele mai puțin cunoscute sosite la neuronul *C* nu vor putea fi superizate, deoarece ele nu sînt întovărășite de semnalele redundante necesare (reprezentate cu linie groasă). De aceea circuitul neuronal va emite semnalul de ieșire y_1, deoarece semnalele mai puțin cunoscute sosite la neuronul *A* au fost întovărășite de semnalele redundante necesare superizării.

nale specifice, cum ar fi cele generate de alimente, duce cu timpul la conducerea semnalelor nespecifice pe calea corespunzătoare semnalelor specifice. De aceea dacă apariția hranei este asociată de mai multe ori cu sunetul unui clopoțel, atunci sunetul clopoțelului va putea determina singur apariția salivației (104).

Pentru a putea realiza însă o reglare cît mai adecvată, sistemul nervos trebuie să aibă în considerare nu numai structura semnalelor pe care le primește, așa cum se întîmplă în reflexele somatice sau vegetative, ci și întregul context al situației în care apar semnalele respective. De aceea reglarea reflexă, care lucrează cu semnale elementare, este supusă unui permanent control superior. Desigur că pentru a putea exercita un control cît mai eficace, formațiunile superioare trebuie să supună semnalele primite unor prelucrări cît mai nuanțate, pentru a avea în considerare nu numai starea unui semnal, ci întregul context al situației. Aceasta nu înseamnă însă că hipotalamusul, care primește semnale de origine optică, acustică, gustativă, olfactivă și tactilă, nu va putea continua prelucrarea algoritmică. Superizarea necesară descoperirii stării surselor care au generat semnalele respective se poate desfășura și algoritmic. Dacă suma algebrică a semnalelor care sosesc la neuronii nucleului ventromedial din hipotalamus, spre exemplu, nucleu care este considerat ca centru al foamei, depășește pragul de excitabilitate, atunci neuronii respectivi vor emite niște potențiale de acțiune, care vor determina declanșarea unui comportament care să ducă la creșterea ingestiei alimentare.

Semnalele generate de hipotalamus vor putea realiza o reglare ceva mai eficace, deoarece rezultă din integrarea și prelucrarea mai multor semnale de intrare. Dar nici hipotalamusul nu realizează o superizare prea înaltă. De aceea activitatea hipotalamusului este și ea controlată de scoarța cerebrală, care realizează superizarea cea mai înaltă. Și acest lucru este foarte important, deoarece informația este materia primă a creierului (125) și de modul în care se desfășoară procesul de superizare, prin intermediul căruia se descoperă informația necesară, va depinde eficacitatea activității mintale și gradul de inteligență al individului (153, 167). Nu toți oamenii superizează la fel. Nu toți au nevoie de același număr de semnale elementare și de același timp pentru a ajunge la semnalele de ordin superior. Pe de altă parte, nu toți oamenii ajung la același nivel de superi-

zare. Cînd folosesc limbajul științific realizează o superizare mai înaltă decît atunci cînd folosesc limbajul uzual, care este mult mai vag. Iar atunci cînd folosesc limbajul logico-matematic realizează o superizare și mai înaltă, în care obiectele și fenomenele sînt reprezentate simbolic, pentru a putea scoate și mai bine în evidență relațiile care există între ele. Cu cît realizează o superizare mai înaltă, cu atît individul va lucra cu concepții și cu idei mai înalte.

Dar și superizarea cea mai înaltă se poate realiza prin prelucrarea algoritmică a semnalelor de intrare, deoarece operatorii logici ai sistemului nervos funcționează după niște reguli foarte precise. De multe ori însă, numărul de operații, pe care ar trebui să le efectueze devine atît de mare, încît sistemul nervos este obligat să renunțe la prelucrarea algoritmică, după regulile precise, pas cu pas. Așa spre exemplu, jucătorul de șah, pentru a putea efectua o mutare trebuie să o aleagă din 10^{80} de variante posibile. Chiar dacă el ar putea prelucra 10^{12} variante pe secundă, ceea ce ar fi de domeniul fantasticului, tot i-ar trebui 10^{98} ani pentru a putea alege algoritmic o mutare (16). De aceea omul nu poate lucra numai algoritmic. El nu poate rezolva pas cu pas, așa cum necesită metoda algoritmică, complicatele probleme cu care este confruntat. Chiar și atunci cînd dispune de regulile necesare, el este obligat să apeleze la prelucrarea euristică, cu care să realizeze o reducere drastică a numărului de operații pe care trebuie să le efectueze, pentru a putea prelucra semnalele respective în timp util.

Capacitatea de prelucrare euristică este cea care îl deosebește pe om de toate celelalte animale, al căror comportament, oricît ar fi de complicat, este reglat totuși prin intermediul unor programe mult mai algoritmice. Tot capacitatea de prelucrare euristică este cea care deosebește creierul uman de orice calculator electronic. Calculatorul electronic nu poate funcționa decît după niște reguli precise, în timp ce creierul uman poate lucra și după reguli mai puțin precise (14,58). Aceasta îi oferă creierului posibilitatea de a prelucra semnale pentru care nu dispune de reguli precise de prelucrare, precum și posibilitatea de a rezolva în timp util problemele cele mai complicate, fără a efectua toate operațiile pe care le-ar solicita rezolvarea lor algoritmică.

Prelucrarea euristică este declanșată de apariția unor semnale mai puțin cunoscute pentru care nu există reguli

precise de prelucrare, sau de imposibilitatea efectuării în timp util a tuturor operațiilor pe care le solicită prelucrarea lor algoritmică.

Toate semnalele aferente sînt conduse algoritmic pînă la un anumit nivel. Apoi chiar de la nivelul hipotalamusului ele încep să fie superizate. La nivelul ariilor de asociație de la nivelul scoarței cerebrale, superizarea atinge punctul culminant. Informațiile descoperite la nivelul ariilor de asociație vor fi apoi trimise atît spre lobul frontal, cît și spre sistemul limbic, sau creierul afectiv cum i se mai spune (113). Dacă semnalele care ajung la sistemul limbic sînt insuficient superizate, atunci ele vor declanșa reacția de orientare la care va participa, desigur, și substanța reticulată (170). Iar prin intermediul hipocampului vor determina mobilizarea unor informații stocate în memoria sistemului nervos. Toate acestea urmăresc să obțină o redundanță suplimentară cu ajutorul căreia să poată fi prelucrate într-un fel semnalele respective.

Dacă redundanța dobîndită face posibilă îndreptarea semnalelor mai puțin cunoscute pe o anumită cale de ieșire, atunci problema este rezolvată. Dacă nici cu ajutorul redundanței pe care a dobîndit-o, sistemul nu reușește să îndrepte semnalele necunoscute spre o anumită cale de ieșire, atunci el va trebui să apeleze la operația de încercare-eroare. Marea redundanță structurală de care dispune, precum și existența modelelor privind relațiile posibile dintre diferitele semnale, îi oferă creierului posibilitatea de a verifica apoi dacă această cale este corespunzătoare sau nu. Dacă semnalele ajunse într-un anumit punct al rețelei nu verifică relațiile necesare cu celelalte semnale, atunci se alege o altă cale și așa mai departe pînă cînd se găsește o cale care să satisfacă toate exigențele cerute. Tocmai datorită acestei posibilități de a găsi pînă la urmă, prin încercare-eroare, calea cea mai adecvată, creierul poate lucra și după reguli mai puțin precise, cum ar fi următoarele:

1. Vezi dacă este vorba de o problemă.
2. Dacă da, atunci formulează problema.
3. Elaborează un plan de rezolvare a problemei.
4. Aplică prima operație.
5. Vezi dacă rezultatul este posibil.
6. Dacă da, atunci continuă.
7. Dacă nu, atunci reformulează problema.

8. Alege un alt plan de rezolvare.
9. Aplică prima operație.
10. Verifică rezultatul și așa mai departe.

Este important de remarcat că omul apelează la astfel de reguli euristice nu numai în rezolvarea unor complicate probleme de viață, în care nu dispune de obicei de suficiente date și de reguli precise, ci și în rezolvarea unor probleme de matematică, deși în acest caz dispune de reguli foarte precise și s-ar părea că ele se rezolvă algoritmic. Pentru rezolvarea unei probleme care este, după G. Polya (114), cea mai caracteristică îndeletnicire umană, trebuie să apelăm și la metodele euristice. Fiecare problemă are particularitățile sale, care fac imposibilă aplicarea automată a unor reguli exacte. De aceea G. Polya recomandă cîteva principii generale, cum ar fi: 1. Stabilirea datelor cunoscute ale problemei. 2. Stabilirea scopului. 3. Stabilirea căilor prin care le-am putea atinge. 4. Căutarea analogiilor cu probleme anterioare. 5. Elaborarea unor ipoteze. 6. Ierarhizarea datelor. 7. Împărțirea problemei în mai multe probleme. 8. Anticiparea rezultatelor. 9. Verificarea rezultatelor etc.

Pentru a putea fi conduse pe o anumită cale în vederea rezolvării problemei, semnalele trebuie să satisfacă anumite condiții. Așa spre exemplu, semnalele emise de o sonerie vor putea fi îndreptate spre glanda salivară dacă ele au fost asociate de mai multe ori cu hrana. Reflexul condiționat care apare este de fapt o operație logică tranzitivă, care se desfășoară după regula silogismului:

Hrana produce salivație
Soneria anunță hrana
Soneria produce salivație

Creierul poate desfășura și operații logice tranzitive care să nu fie legate de un excitant necondiționat, cum ar fi spre exemplu silogismul:

Omul rezolvă probleme
Ion rezolvă probleme
Ion este om,

în care se face un transfer de proprietăți între două clase care se află în raport de incluziune. F. Botezatu (22) a pus

operația logică tranzitivă la baza logicii naturale. Cu ajutorul ei sistemul nervos poate face transferuri de proprietăți, îmbogățindu-se valoarea informațională a diferitelor semnale. Aceste transferuri sînt posibile datorită faptului că aceiași neuroni pot aparține în diferite grade mai multor modele interne, între care pot exista raporturi de intersecție sau de incluziune. Transferurile de proprietăți pot merge uneori pînă la similitudine, așa cum se întîmplă în cazul relațiilor care se stabilesc între modelele interne ale diferitelor obiecte și fenomene și circuitele logice din centrii limbajului. Printr-un transfer de proprietăți, în acești centri apar niște modele interne de gradul doi capabile să răspundă și la alte combinații de semnale, cum ar fi cele reprezentate de cuvintele corespunzătoare obiectelor și fenomenelor respective. De aceea I. P. Pavlov (104) a denumit limbajul ca al doilea sistem de semnalizare, prin intermediul căruia se pot transmite informații despre un obiect chiar și în absența lui.

Pentru a putea fi transmise pe o anumită cale, din numeroasele căi posibile, semnalele sau informațiile, la care se ajunge prin procesul de superizare, trebuie să satisfacă foarte multe exigențe. În primul rînd, ele trebuie să aibă o anumită valoare de veridicitate, de adevăr sau de posibil. Deși este absolut necesară, valoarea de veridicitate nu este însăsuficientă. Pentru a putea conduce semnalele pe anumite căi, ele trebuie să fie nu numai veridice, ci și utile.

La nivelele inferioare ale sistemului nervos utilitatea este înscrisă chiar în structură, adică în *hardware*, cum i se mai spune. Așa spre exemplu, semnalele generate de variațiile tensiunii arteriale sînt trimise spre centrul vasomotor și de aici la musculatura arterială, deoarece transmiterea lor pe această cale este cea mai utilă pentru păstrarea tensiunii arteriale în anumite limite.

La nivelele mai înalte însă același semnal poate fi condus pe mai multe căi. De aceea la nivelele mai înalte ale sistemului nervos utilitatea nu mai este înscrisă în structură. Aici ea trebuie stabilită cu ajutorul programului, căruia i se mai spune *software*. Noi am arătat că în sistemul nervos programul este indisolubil legat de structură. Cu toate acestea, el nu este înscris în structură, așa cum se întîmplă la nivelele inferioare ale sistemului nervos. Structura este reprezentată de rețeaua de comunicație a sistemului, în timp ce programul este reprezentat de operatorii logici care acțio-

nează asupra rețelei (131). Operatorii depind într-o mare măsură de structura, de metabolismul acizilor nucleici, sau de metabolismul mediatorilor sinaptici, spre exemplu. Dar deși nu poate fi complet despărțit de structură, programul de funcționare al sistemului nervos nu poate fi confundat cu structura respectivă. Acest lucru poate fi demonstrat și de faptul că cu aceeași structură, sistemul nervos poate îndeplini foarte multe programe. Iar valoarea de utilitate a unui semnal depinde de gradul, sau de probabilitatea, cu care el ar putea contribui la îndeplinirea programului respectiv. De aceea valoarea de utilitate poate fi exprimată prin diferența dintre probabilitatea P_1 pe care o are îndeplinirea programului înainte și probabilitatea P_2 pe care o are îndeplinirea programului după primirea semnalului respectiv. Adică:

$$U = \log_2 P_1 - \log_2 P_2.$$

Pentru a putea aprecia utilitatea semnalelor pe care le primește în vederea îndreptării lor pe o anumită cale din numeroasele căi posibile, sistemul nervos trebuie să dispună de niște programe de reglare a comportamentului. Aceste programe se elaborează, sau mai bine zis se definitivează în lobul frontal, care joacă un rol deosebit în desfășurarea proceselor decizionale (33). Programele de reglare a comportamentului sînt elaborate cu ajutorul modelului relațiilor, al probabilităților logice și subiective pe care sistemul le acordă diferitelor evenimentele din mediul înconjurător.

Dacă probabilitățile subiective vor corespunde perfect cu desfășurarea reală a fenomenelor, atunci toate semnalele pe care le va primi sistemul nervos vor fi redundante. Cu cît probabilitățile subiective se vor deosebi mai mult de desfășurarea reală a fenomenelor, cu atît semnalele pe care le va primi vor aduce o informație mai mare și vor fi mai necesare sistemului pentru a-și putea adapta deciziile la condițiile concrete ale factorilor de mediu. Și ele vor fi conduse de către mecanismul de *feed-before* pe calea care ar corespunde cel mai bine prevenirii, sau cel puțin corectării, perturbațiilor respective.

Dar calea pe care trebuie condusă o informație nu depinde numai de utilitatea ei. Prelucrarea informațiilor urmărește să asigure stabilitatea sistemului biologic. De aceea prelucrarea informațiilor este întovărășită și de o anumită stare de confort, de plăcere sau de neplăcere (27). Așa spre exemplu,

o informație prea mare determină o stare de anxietate, deoarece readaptarea mecanismelor de reglare presupune un anumit risc (118). Dimpotrivă, redundanța prea mare, deoarece nu aduce nimic nou, determină o stare de plictiseală sau chiar de depresie psihică (166). Pentru a evita aceste stări, sistemul evaluează informațiile și în funcție de gradul de confort, de plăcere sau de neplăcere pe care o produc. Un rol deosebit în acest sens îl joacă sistemul de recompensă-pedeapsă. Sistemul de recompensă cuprinde o serie de structuri asociate fasciculului median al telencefalului, începînd de la regiunile ventrale ale tegumentului mezencefalic pînă la septum și amigdală și hipotalamusul lateral. Iar sistemul de pedeapsă cuprinde structurile paraventriculare de la nivelul talamusului, hipotalamusului și mezencefalului (101). Sistemul de recompensă-pedeapsă cuprinde deci structuri foarte răspîndite în encefal pentru a putea acorda valoarea hedonică corespunzătoare tuturor semnalelor pe care le prelucrează.

Valoarea hedonică are, după cum arată M. Cabanac (27), o importanță deosebită în reglarea proceselor fiziologice, cum ar fi alimentația, spre exemplu. Gustul plăcut al alimentelor contribuie la ingestia lor. Dar senzația gustativă plăcută scade pe măsura ingestiei, ducînd treptat la întreruperea ei.

Pe măsură ce se apropie de locul de elaborare al deciziilor, adică de lobul frontal, semnalele trebuie să fie evaluate nu numai din punctul de vedere al veridicității, al utilității și al plăcerii pe care o produc, ci și din punct de vedere deontic. Valoarea deontică (199) este o valoare normativă care ține seama nu numai de condițiile interne ale sistemului, ci și de condițiile externe în care își duce existența.

Dar pe măsură ce se apropie de locul de elaborare a deciziilor, procesele informaționale devin tot mai conștiente, se apropie tot mai mult de acea esență tulburătoare a ființei umane, care este indisolubil legată de modelul relațiilor, dispus și el pe mai multe nivele, pînă la acela al relațiilor dintre om și mediu, sub aspectele lor etice și morale.

Desigur că pentru a putea descoperi informațiile necesare, cu ajutorul procesului de superizare, și pentru a putea prelucra apoi informațiile descoperite pentru a ajunge la deciziile corespunzătoare, sistemul nervos trebuie să efectueze o mulțime de operații. Gîndirea este, după cum remarcă J. Piaget (112), de natură operatorie. Activitatea operatorie a sistemului nervos este ușurată însă de faptul că el lucrează

cu o logică a claselor. Un semnal de ordin superior S_1 reprezintă clasa tuturor semnalelor $s_1 s_2 ... s_n$ care l-au generat. Adică:

$$S_1 = \{s_1 s_2 ... s_n\}.$$

Lucrînd cu semnale de ordin superior $S_1 S_2 ... S_n$, creierul nu mai trebuie să efectueze însă numărul foarte mare de operații care ar trebui efectuate cu semnalele de ordin inferior (fig. 39). Și cu cît va efectua o superizare mai înaltă, cu atît el va reduce mai mult numărul operațiilor pe care trebuie să le efectueze. De aceea sistemul nervos caută să efectueze o superizare cît mai înaltă. Lucrînd cu clase de ordin superior, el reduce extrem de mult numărul de operații pe care trebuie să le efectueze. Astfel, deși el nu poate efectua mai mult de una sau două operații pe secundă, cu două sau trei variabile, care să aducă cel mult 16 biți, reușește să rezolve în timp util problemele extrem de complicate cu care este confruntat. Altfel el nu ar reuși să prelucreze cei 10^7 biți care îi sosesc în fiecare secundă de la organele de simț.

Clasele cu care lucrează sistemul nervos se întrepătrund însă foarte mult. Clasa S_1 se intersectează cu clasa S_2, cu clasa S_3 și așa mai departe, deoarece același semnal s_i, emis de neuronul N, va putea aparține mai multor modele interne. Intersecția modelelor, datorită faptului că același neuron poate aparține în același timp mai multor modele, și intersecția claselor, datorită faptului că același semnal poate aparține în același timp mai multor clase, face ca sistemul nervos să lucreze de fapt cu o logică vagă, cu o logică *fuzzy*, în care semnalele pot avea o infinitate de valori în intervalul [0,1] în funcție de gradul de apartenență la clasa respectivă (92). Apartenența aceluiași neuron la mai multe modele interne și a aceluiași semnal la mai multe clase, care ar putea avea unele proprietăți contradictorii, îi oferă sistemului nervos posibilitatea de a trece de la logica polivalentă, sau de la logica fuzzy, la logica dialectică în care contradicția fenomenelor nu este exclusă, contribuind chiar la evoluția lor.

Decizia D, pe care o adoptă în cele din urmă sistemul nervos, va trebui să intersecteze mulțimea scopurilor S cu mulțimea restricțiilor R pe care trebuie să le respecte. Adică: $D = S \cap R$. De aceea informațiile sînt evaluate în funcție de aceste scopuri și de aceste restricții. Ele vor avea

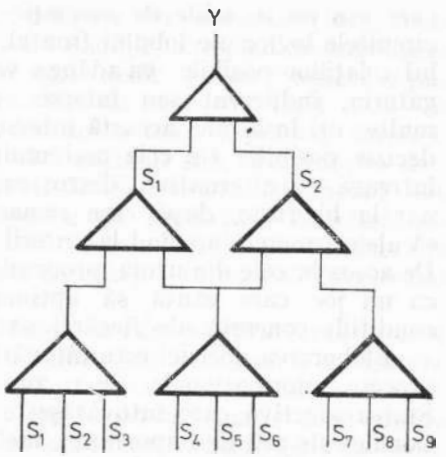


Fig. 39. Lucrînd cu o logică a claselor, sistemul nervos reduce foarte mult numărul operațiilor pe care trebuie să le efectueze pentru a putea lua o decizie. Numărul mare de operații pe care ar trebui să le efectueze lucrînd cu semnalele elementare $s_1 s_2 ... s_9$ este redus la numărul mult mai mic al operațiilor pe care trebuie să le efectueze cu semnalele de ordin superior $S_1 S_2$, deși după cum se vede pe tabelele de adevăr, rețeaua neuronală ajunge la același rezultat, adică va emite un semnal de ieșire y oride cîte ori va primi un semnal de intrare, funcționînd deci ca un circuit logic disjunctiv.

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

S_1	S_2	Y
1	1	1
0	1	1
1	0	1
0	0	0

o anumită valoare de utilitate și de plăcere în funcție de scopurile și de necesitățile sistemului și o anumită valoare de veridicitate și deontică în funcție de restricțiile pe care trebuie să le respecte sistemul. De aceea decizia se află de fapt la intersecția valorilor de veridicitate V, cu cele de utilitate U, de plăcere P, și deontice O. Adică $D = V \cap U \cap P \cap O$.

Această intersecție se poate stabili prin întîlnirea semnalelor care vin evaluate din punct de vedere hedonic, de la sistemul limbic și de la sistemul de recompensă-pedeapsă, cu cele de utilitate, care pot veni de la hipotalamus, cu cele de veridicitate,

care vin de la ariile de asociație ale scoartei cerebrale, în circuitele logice ale lobului frontal, care dispunînd de modelul relațiilor posibile, va adăuga valoarea deontică, de obligatoriu, indiferent sau interzis, deciziilor respective. De multe ori însă, nici această intersecție nu duce la o singură decizie posibilă. De cele mai multe ori mai rămîn o serie întreagă de alternative, dintre care omul, ca un condamnat la libertate, după cum remarca J. P. Sartre, trebuie să aleagă mereu, apelînd la criterii și valori complementare. De aceea în cele din urmă, procesul de decizie poate fi privit ca un joc care caută să optimizeze diferitele valori la condițiile concrete ale fiecărei situații (fig. 40).

Elaborarea deciziei este întovărășită, ca și toate celelalte procese informaționale, de o anumită coloratură afectivă. Starea afectivă care întovărășește toate procesele informaționale este atît de importantă, încît fără ea creierul nici nu poate lucra. Experiențele efectuate pe jucătorii de șah care au fost invitați să joace fără a se angaja emotiv au demonstrat că fără factorul emoțional nu puteau juca (56). Noi am arătat că creierul uman este de fapt un calculator sentimental, la care emoțiile, pasiunile și sentimentele, comple-

Comportament	Valori				
	VA	VU	VP	VO	$\overline{V}_G$
Y_1	9	3	5	1	1
Y_2	1	2	2	3	1
Y_3	5	4	6	7	4
Y_4	2	1	2	5	1
$\overline{Y}_G$	9	4	6	7	

Fig. 40. Procesul decizional poate fi privit ca un joc care caută să optimizeze numeroasele valori pe care trebuie să le aibă în considerare. Pe coloana din dreapta sînt trecute cîștigurile minime, iar pe rîndul de joc cîștigurile maxime. În funcție de scopurile pe care le urmărește, de informațiile pe care le deține și de prudența de care dă dovadă, organismul va alege unul sau altul dintre comportamentele posibile. De multe ori el maximalizează unele valori în detrimentul altora, așa cum se întîmplă, spre exemplu, în sacrificiul de sine în care valorile etice și estetice sînt maximalizate.

tează lipsa de precizie a programelor euristice (157). Chiar dacă fac o mare risipă de energie, crescînd metabolismul cerebral de două ori mai mult decît efortul intelectual pur, emoțiile și pasiunile sînt atît de necesare, încît fără ele creierul nu poate lucra. De aceea toate procesele informaționale pe care le desfășoară creierul sînt întovărășite de o anumită coloratură afectivă. Și această coloratură este mai pronunțată în procesele de prelucrare euristică. De aceea omul evită de obicei muncile de rutină. El caută să desfășoare mai ales munci de creație, în care să investească sentimentele și pasiunile sale.

Prelucrarea euristică este cea care asigură fantezia creației umane. Și calculatorul electronic poate crea cu ajutorul metodei algoritmice (72, 89). Dar creația calculatorului este mult mai săracă și mai lipsită de imaginație decît creația umană. Omul trece de la prelucrarea semnalelor la prelucrarea informațiilor, pe care le evaluează în foarte multe puncte de vedere, ceea ce îi oferă posibilitatea de a crea opere de o înaltă valoare estetică.

Esența sistemului nervos nu constă deci în aparențele sale substanțial-energetice, ci în modul său de organizare și funcționare. Căci nu simpla supradimensionare, ci extrem de subtila supraorganizare, capabilă să asigure prelucrarea extrem de nuanțată a informațiilor, i-a oferit creierului uman posibilitatea de a ajunge la performanțe atît de înalte. De aceea creierul nu va putea fi niciodată elucidat numai cu ajutorul anatomiei, histologiei, biochimiei sau neurofiziologiei. Pentru studierea complicatelor procese informaționale care au loc în sistemul nervos este necesară o metodologie informațională, fără de care nu se va putea pătrunde în esența proceselor neuropsihice (163). Cu ajutorul ei vom putea parcurge mai ușor acea distanță care mai separă încă, după cum arată A. Kreindler (58), activitatea psihică de bazele sale neurofiziologice.

CAPITOLUL XIII

REGLAREA IMUNITARĂ

Pentru a putea menține identitatea sistemului biologic, diferitele elemente ale mecanismelor de reglare intr-a și extracelulare trebuie să comunice între ele. Tocmai de aceea ele primesc și transmit anumite substanțe care joacă rolul de mediatori chimici. După dimensiunile, după forma și structura lor spațială, mesagerii chimici transportă o anumită informație structurală. Și nu numai acizii nucleici sau proteinele, ci absolut toate moleculele organismului au, pe lîngă rolul plastic și energetic, și rolul de a transmite o informație structurală. Această informație structurală, cu ajutorul căreia moleculele se recunosc între ele, face ca programul de funcționare al sistemului să fie înscris în propria lui structură (143). În funcție de conformația ei spațială, o enzimă se mulează pe un anumit substrat, catalizînd anumite reacții biochimice. Purtînd odată cu substanța, care intră în reacție, și semnalul dirijării și declanșării reacției respective, informația structurală autoreglează reacțiile biochimice care — cel puțin datorită numărului lor foarte mare — nici nu ar putea fi reglate altfel. Reprezentînd forma de trecere de la aspectul substanțial la aspectul informațional, informația structurală are însă și anumite imperfecțiuni (144). Așa spre exemplu, fiind indisolubil legată de structura care o poartă, ea poate fi alterată odată cu alterarea structurii respective. De aceea pentru a evita riscul apariției unor informații structurale false, sau alterate, a apărut un mecanism capabil să protejeze informația structurală a organismului de informațiile structurale străine.

Pentru a putea proteja informația structurală a organismului, căreia i se mai spune *self*, de informațiile structurale străine, cărora li se mai spune *nonself*, acest mecanism trebuie să aibă capacitatea de a deosebi informația proprie de informațiile structurale străine.

După cum arată F. Jacob (55), toate celulele organismului au de fapt capacitatea de a sonda și de a recunoaște substanțele din mediul extern prin intermediul unor proteine de la nivelul membranelor, care se pot lega selectiv de anumite substanțe. Aceste proteine, care joacă rolul de receptori, sînt cele care prin deblocarea genelor operatoare pot duce la sinteza altor proteine, capabile de a acționa enzimatic asupra substanțelor străine. Receptorii de pe membrana celulară au rol reglator, deoarece prin sondarea mediului pot indica celulei ce enzime să sintetizeze pentru a putea metaboliza substanțele care se află în mediul respectiv. Aceste proteine reglatoare adaptează rigiditatea programului genetic la variabilitatea mediului extern.

Descoperind prezența diferiților metaboliți, receptorii de pe membrana celulară acționează ca un fel de demoni ai lui Maxwell. Fizicianul J. C. Maxwell a descris în cartea sa despre teoria căldurii, apărută în 1871, un fel de demon capabil să sesizeze viteza moleculelor și să manevreze o ușiță dintre două recipiente pentru a îndrepta moleculele cu viteză mare spre un recipient și cele cu viteză mică spre alt recipient. El reușea astfel să crească temperatura recipientului în care se adunau moleculele cu viteză mai mare în pofida celui de-al doilea principiu al termodinamicii, deși trebuie remarcat că pentru a putea realiza acest lucru și el avea nevoie de o anumită cantitate de informație și de energie.

Apelînd la informația structurală, receptorii de pe membrana celulelor reușesc să recunoască diferitele substanțe prezente în mediul extern și să declanșeze sinteza enzimelor necesare metabolizării lor. Anumite celule și-au perfecționat însă această capacitate de a recunoaște, de a deosebi structurile proprii de structurile străine.

Substanțele străine pătrunse în organism sînt recunoscute de niște celule libere, care le fagocitează, adică le introduc în citoplasma lor și le metabolizează (47). Unele celule cu un echipament enzimatic mai bogat, cum ar fi leucocitele, reușesc să degradeze complet structurile străine. Altele, cum ar fi macrofagele, nu degradează complet nonselful, transmițîndu-l, incomplet degradat, limfocitelor care îl înconjură. Nonselful transmis de macrofage are capacitatea de a stimula înmulțirea și transformarea unor limfo-

cite în plasmocite. Plasmocitele conțin mai mulți ribozomi, ceea ce le oferă posibilitatea de a sintetiza mai multe proteine. Ele s-au specializat în sinteza unor proteine capabile să neutralizeze nonselful. Proteinele acestea, sintetizate de plasmocit cu o viteză de 2,5 milioane de molecule pe oră, se numesc anticorpi. Iar substanțele străine capabile să declanșeze sinteza de anticorpi se numesc antigene (fig. 41).

Pentru a putea sintetiza o proteină, fie că este o enzimă sau un anticorp, este necesară o informație genetică. Tocmai pentru a oferi această informație genetică, limfocitul răspunde printr-o proliferare celulară, care presupune și o proliferare de ADN. Sinteza de ADN este întovărășită apoi de o creștere a sintezei de ARN și a sintezei de proteine.

S-au elaborat mai multe teorii pentru a explica procesul, destul de complicat, al sintezei de anticorpi. Teoria instructivă consideră că antigenul joacă rolul de matriță. Ea nu poate fi însă acceptată decît dacă s-ar demonstra că informația circulă nu numai de la ADN la proteine, ci și de la proteine la ADN, ceea ce este deocamdată foarte greu de presupus.

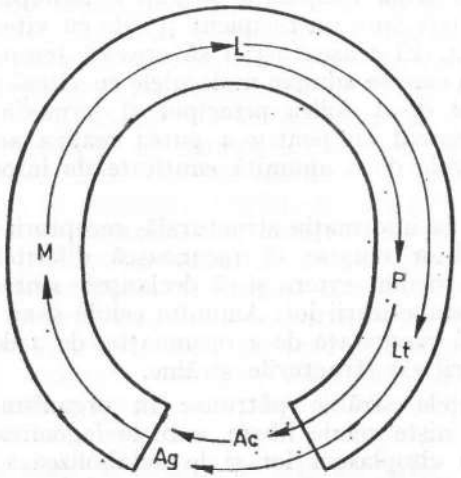


Fig. 41. Mecanismele de apărare imunitară recunosc prin intermediul unor celule specializate, cum sînt macrofagele *M*, informația antigenică adusă de structurile străine *Ag*, pe care o prelucrează și o transmit limfocitelor *L* care le înconjură. Acestea se transformă în plasmocite *P*, sau în limfocite *T* sensibilizate *Lt*, care vor acționa prin intermediul unor anticorpi *Ac*, sau direct asupra structurilor străine *Ag*, pe care le neutralizează.

Teoria selecției clonale, a lui F. M. Burnet, presupune că prin mutații pot apărea un număr foarte mare de celule imunitare diferite, care vor putea da apoi naștere la clone diferite, capabile să sintetizeze fiecare cîte un anumit anticorp. Apariția unui antigen va duce la proliferarea clonei care ar putea să producă anticorpul respectiv. Adică așa cum în cazul celulelor obișnuite, proteina reglatoare poate declanșa, la apariția unei anumite substanțe în mediul înconjurător, sinteza unei anumite proteine, în cazul celulelor imunocompetente, apariția antigenului poate stimula, prin intermediul proteinei reglatoare, sinteza unui anumit anticorp.

Din punctul de vedere al greutății moleculare, anticorpii (sau imunoglobulinele, cum li se mai spune, deoarece sînt formați din globuline și mai exact din gamaglobuline) pot fi împărțiți în mai multe clase: imunoglobulinele G cu o greutate moleculară de 150 000, imunoglobulinele A, cu o greutate moleculară între 180 000 și 500 000, imunoglobulinele M, cu o greutate moleculară de 900 000. Mai recent s-au descris și imunoglobulinele D și E, ultimele jucînd un rol foarte important în alergii. Imunoglobulinele E se pot fixa pe membrana mastocitelor și bazofilelor determinînd eliberarea de histamină și de alți factori chimici care produc tulburările din alergii.

O imunoglobulină reprezintă însă un agregat format din mai multe lanțuri polipeptidice; unele ușoare, cu masa de 22 500, și altele grele, cu masa de 53 000. Lanțurile polipeptidice ușoare au aceleași dimensiuni la toate imunoglobulinele, spre deosebire de lanțurile grele care au dimensiuni diferite.

Imunoglobulina G este formată din două lanțuri ușoare și două lanțuri grele. Fiecare lanț ușor este legat de un lanț greu printr-o legătură covalentă. Iar cele două lanțuri grele sînt legate la rîndul lor între ele prin două legături covalente (fig. 42).

Specificitatea anticorpilor este determinată de secvența aminoacizilor, secvență care variază mai ales în anumite porțiuni, care se află situate la cele două capete ale moleculei. Astfel, fiecare moleculă de anticorp are două arii identice, situate la o anumită distanță, care se pot combina cu antigenul prin intermediul unor legături slabe. Imunoglobulinele G au două valențe, adică două locuri prin care se pot combina cu antigenul. Imunoglobulinele M au cinci valențe

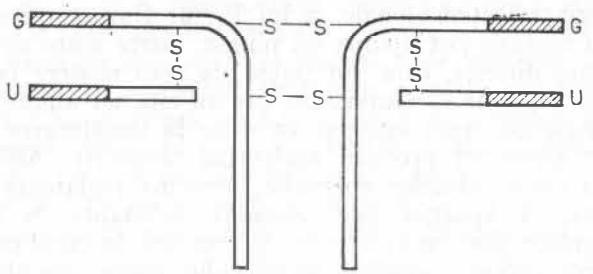


Fig. 42. Molecula de imunoglobulină este formată din patru lanțuri polipeptidice: două ușoare *U* și două grele *G*, unite între ele prin legături sulfurice. Numai porțiunile distale, haşurate, sînt variabile și oferă specificitatea funcțională fiecărei molecule de anticorp.

etc. Și antigenul poate avea mai multe valențe, adică mai multe locuri prin care se poate combina cu anticorpul. După numărul de anticorpi pe care îi poate lega, antigenele pot avea valențe diferite. Așa spre exemplu, toxina difterică are cel puțin opt valențe.

Anticorpii nu apar însă la primul contact cu antigenul. Ei există dinainte pe limfocit sub forma unor anticorpi santinelă, capabili să recunoască stereochimic antigenul respectiv. Antigenul determină însă sinteza anticorpului care l-a recunoscut pe scară mare. Atunci cînd anticorpii sintetizați de plasmocite sînt secretați în circulația generală este vorba de o imunitate umorală, sau de tip imediat, la care participă mai ales limfocitele B. Atunci cînd ei nu sînt secretați, ci sînt purtați chiar de celulele care i-au sintetizat, este vorba de o imunitate celulară, sau de tip întîrziat, așa cum se întîmplă în reacția de eliminare a transplantelor, la care participă limfocitele T.

Între cele două forme de imunitate există însă o legătură indisolubilă, deoarece limfocitele T participă nu numai la imunitatea celulară, ci și la reglarea imunității umorale. Din punctul de vedere al rolului pe care îl au în imunitatea umorală, limfocitele T pot fi sensibilizante, stimulante sau supresive. Cele stimulante și sensibilizate susțin imunitatea umorală, pe cînd cele supresive o inhibă. Predominanța uneia din aceste subpopulații limfocitare poate duce la reducerea sau, dimpotrivă, la intensificarea sau la prelungirea reacției imunitare, așa cum se întîmplă în inflamațiile cronice, în care s-ar părea să fie vorba de o reducere a limfocitelor supresive.

Mecanismele de apărare imunitară nu apără însă selful doar de informațiile structurale din afară, ci și împotriva tulburărilor și perturbațiilor structurale dinăuntrul organismului. La schimbul imens de informații care are loc în permanență în organismul uman, pot apărea anumite erori. Atît în procesul de replicare a ADN-ului, cît și în cel de transcripție a informației genetice de la ADN la ARNm, sau în cel de translație a informației genetice de la ARNm la proteine pot apărea uneori anumite erori. S-a apreciat că apariția unei mutații, adică a unei erori, ar fi de 10^{-6} pînă la 10^{-8}, pentru o generație celulară, ceea ce avînd în vedere cele 5×10^{12} celule din organismul uman ar avea totuși o importanță foarte mare. Aceste mutații ar putea fi produse de factori fizici, cum ar fi radiațiile, sau de factori chimici, cum ar fi substanțele cancerigene. De multe ori ele pot fi produse însă de acizii nucleici virali care se infiltrează în genomul celulei. Dacă celula în care intră un virus îi va permite să se multiplice, atunci celula respectivă va putea fi distrusă. Dacă celula nu va permite virusului să se multiplice, atunci ea nu va fi distrusă, dar virusul respectiv se va putea infiltra în genomul ei. Celula nepermisivă, cum i se spune, nu va fi distrusă, dar va putea da naștere la celule mutante, adică la celule canceroase, care, datorită insensibilității lor la semnalele reglatoare ale celorlalte celule, vor duce pînă la urmă la distrugerea sistemului biologic. Insensibilitatea celulelor canceroase la semnalele reglatoare ale celorlalte celule poate fi demonstrată experimental prin creșterea lor pe un mediu de cultură. Spre deosebire de celulele normale care cresc într-un strat uniform, celulele canceroase, insensibile la semnalele celulelor din jur, cresc ca o masă de celule care se înghesuie și se înăbușă reciproc (195).

Recunoscînd celulele mutante, mecanismele de reglare imunitară pot să prevină, și de cele mai multe ori previn, apariția cancerului, deoarece cancerul apare, după cum arată G. Mathe, mult mai rar decît apar celulele mutante.

Mecanismele de apărare imunitară mai au și rolul de salubrizare a organismului. În fiecare zi mor cîteva miliarde de celule. Hematiile, spre exemplu, nu trăiesc decît 120 de zile, după care splina, care mai este denumită și cimitirul hematiilor, le reține pe cele bătrîne și alterate, pe care le distruge, iar fierul și celelalte substanțe care rezultă din

distrugerea lor sînt folosite la sinteza altor celule. În fiecare zi mor cîteva zeci de mii, sau chiar sute de mii de neuroni, într-un proces de depopulare neuronală, care face ca de la cei aproximativ 825 de neuroni pe mm² de scoarță cerebrală, cît are omul la 40 de ani, să se ajungă la 680 de neuroni pe mm² la vîrsta de 60 de ani și la 500 de neuroni pe mm² la vîrsta de 70 de ani. Resturile acestor celule sînt depistate și digerate de către macrofage.

Mecanismele de apărare imunitară au deci un rol deosebit atît față de apărarea împotriva structurilor străine, cît și față de denaturările structurilor proprii. Mecanismele de apărare imunitară au însă foarte multe imperfecțiuni (147). Ele lucrează cu o informație foarte primitivă, mult prea strîns legată de substanța care o transportă, așa încît modificările substanțiale, care ar trebui prevenite, sau corectate prin prelucrarea informațiilor, pot altera ele însele informația structurală a organismului. Dacă ele afectează porțiunile care joacă rolul de semnal antigenic, atunci vor declanșa un proces de respingere a unor structuri, care s-ar putea să nu fie chiar așa de alterate din punct de vedere funcțional. Acest lucru este demonstrat de faptul că administrarea unor medicamente imunosupresoare, capabile să reducă reacția de respingere, duce la ameliorarea bolilor autoimune.

Pe de altă parte, mijloacele de apărare imunitară nu au suficiente mecanisme de reglare și control. De aceea pot apărea o serie întreagă de reacții paradoxale, cum ar fi șocul anafilactic, sau, dimpotrivă, o serie întreagă de reacții ineficiente, așa cum se întîmplă în cancer.

Tocmai datorită numeroaselor sale imperfecțiuni, reglarea imunitară poate fi implicată în foarte multe boli (78,147).

CAPITOLUL XIV

CULTURA CA AL DOILEA CANAL DE TRANSMITERE A INFORMAȚIILOR

Informația genetică, cuprinsă în acizii nucleici, se transmite de la predecesori la urmași prin intermediul unui canal căruia i-am putea spune canal genetic. Informația care se transmite prin acest canal este cea care determină structura viitorului organism. În funcție de secvența bazelor azotate din ADN, viitorul organism va fi blond sau brunet, mai scund sau mai înalt, mai urît sau mai frumos, mai rezistent sau mai puțin rezistent la diferite boli.

Deoarece un acid nucleic care are 10 000 de baze azotate poate exista în 10^{6000} de variante posibile, canalul genetic dispune de foarte multe posibilități de alegere a structurii viitorului organism. Dar structura respectivă nu va putea funcționa fără un program de funcționare. De aceea informația genetică va trebui să transmită și programul de funcționare al viitorului organism. Deoarece programul de funcționare al sistemelor biologice este înscris în propria lor structură, în informația lor structurală, canalul genetic va transmite odată cu structura și programul ei de funcționare. Atunci însă cînd de la redundanța structurală se ajunge la redundanța combinatorie, așa cum se întîmplă în cazul sistemului nervos, informația genetică, cuprinsă în structură, nu mai este suficientă pentru a putea asigura funcționarea sistemului.

De aceea creierul nu poate funcționa adecvat doar pe baza informației genetice pe care a primit-o. Informația genetică determină rețeaua neuronală. Dar pentru a putea funcționa adecvat, rețeaua neuronală va trebui structurată și restructurată de informațiile pe care creierul le primește din afară. De aceea inteligența, adică acea capacitate de a acționa în modul cel mai adecvat și mai eficace, va depinde atît de zestrea genetică, cît și de informațiile primite ulterior

din mediu (153). Nici studiile efectuate pe gemeni, nici cele efectuate pe copiii adoptați nu au putut stabili exact care este influența eredității asupra inteligenței. Unii i-au atribuit o influență foarte mare, alții i-au atribuit o influență foarte mică, deși este evident că nici structura, moștenită genetic, nu poate funcționa fără programele dobîndite ulterior, dar nici programele dobîndite nu se vor putea realiza fără o structură corespunzătoare. Fără un echipament corespunzător de programe nici cei mai dotați din punct de vedere genetic nu vor putea exista, deoarece omul nu poate trăi fără un echipament minim de programe, care să-i indice în fiecare moment modul în care trebuie să folosească libertatea de care dispune. De aceea omul este rezultatul interacțiunii dintre factorii biologici și factorii sociali și culturali.

Deși creierul copilului cîntărește la naștere 10% din greutatea corpului, adică de 5—6 ori mai mult decît la adult, al cărui creier nu reprezintă mai mult de 2% din greutatea corpului, el nu dispune încă de programele necesare pentru reglarea comportamentului. El nu dispune decît de cîteva programe capabile să-i asigure automatismul neurologic și visceral. Restul de programe le va dobîndi foarte greu, printr-un foarte îndelungat proces de educație, care ține de fapt toată viața. Toată viața creierul se structurează și se restructurează neîncetat sub influența informațiilor pe care le primește din afară, înscriindu-și astfel echipamentul de programe în propria sa structură.

Dacă la început rețeaua neuronală, nestructurată, a copilului, are libertatea de a conduce aproape orice informație de intrare spre aproape orice cale de ieșire, prin influențele pe care informațiile sau mai bine zis semnalele pe care le primește din afară le exercită asupra sa, ea își pierde treptat din această libertate. Dar cîștigă în schimb capacitatea de a utiliza cît mai bine libertatea de care dispune (153).

Mediul înconjurător este o foarte bogată sursă de informații. Fiecare foșnet, fiecare sunet, fiecare mișcare, fiecare cuvînt, fiecare zîmbet, ca și fiecare substanță poate emite o anumită informație, prin culoarea, prin mirosul, prin forma și prin gustul ei. De aceea organele noastre de simț sînt pur și simplu asaltate de o fantastică cantitate de informație, apreciată la 10^{11} biți pe secundă (37).

Din acest ocean de informații, care inundă organismul încă de la naștere, organele noastre de simț nu reușesc să

recepționeze și să conducă mai departe decît 10^7 biți pe secundă. Acești 10^7 biți care ajung în fiecare secundă la sistemul nervos vor influența metabolismul și prin intermediul lui structura logică a sistemului nervos (148). Dispar unele circuite vechi și apar, în permanență, alte circuite noi, care, fiind niște operatori capabili de a conduce informațiile pe anumite căi, vor reprezenta de fapt programul de funcționare al sistemului nervos.

Creierul omului se naște sărac în programe. De aceea, după cum remarcă J. Eccles (34), civilizația și cultura nu se moștenesc biologic. Omul este obligat să le ia de fiecare dată de la capăt. Și acest lucru este posibil datorită faptului că, deși se naște foarte sărac în programe, el se naște foarte bogat în posibilități. El are posibilitatea de a fi influențat de informațiile primite din afară. Apoi are posibilitatea de a conduce informațiile respective pe foarte multe căi posibile. Astfel, el are posibilitatea de a achiziționa și funcționa după foarte multe programe. Cu aceeași structură se pot vorbi, spre exemplu, mai multe limbi și se pot efectua profesii foarte diferite.

Dacă creierul ar moșteni întocmai programele sale de funcționare, atunci omenirea ar fi evoluat mult mai greu. Pentru aceasta ar fi fost necesară modificarea informației genetice, care nu se poate obține decît prin intermediul unor mutații, și apoi o selecție a mutațiilor favorabile, ceea ce ar fi necesitat un timp foarte îndelungat.

Dobîndind posibilitatea de a fi structurat și restructurat de informațiile primite din afară, pentru a intra în posesia unor programe din ce în ce mai perfecționate, creierul și-a asigurat un ritm mult mai rapid de evoluție decît cel care s-ar fi putut realiza prin intermediul canalului genetic. De aceea uluitoarele progrese pe care le-a realizat și le realizează în permanență omul s-au produs nu prin modificarea structurii, ci prin perfecționarea programelor sale de funcționare, adică prin intermediul canalului cultural.

Posibilitatea de a dobîndi programe noi și din ce în ce mai perfecționate este determinată de aviditatea cu care omul culege informații. Psihologii vorbesc de o curiozitate fără de care nu ar exista cercetare și cunoaștere. M. Malița (68) vorbește de o foame de informație, asemănînd creierul cu o sită prin care trebuie să treacă în permanență o cantitate minimă de informație. J. R. Platt enumeră informația printre nevoile fundamentale ale omului, alături de apă,

de aer, de hrană și de adăpost. Adică omul ca sistem deschis are nevoie nu numai de substanțe și de energie, ci și de informație. N. Wiener spune că a trăi activ înseamnă a trăi avînd informații corespunzătoare. Aceste informații care structurează și restructurează mereu creierul îi îmbogățesc în permanență echipamentul său de programe. Informațiile primite din afară au un rol atît de important în formarea ființei umane, încît ele pot determina acea pseudoereditate, de care vorbește J. A. Meerloo, care face ca copiii să semene cu părinții lor nu numai datorită informației genetice pe care au primit-o, ci și datorită informațiilor ulterioare pe care le primesc de la ei.

Recepționînd informațiile pe care i le oferă mediul în primii doi ani de viață, creierul atinge, după cum arată J. Piaget (111, 112), pragul unei inteligențe senzoriale, în cadrul căreia copilul devine capabil să recunoască unele forme. Unele animale se nasc chiar cu această posibilitate. Puiul de cuc, care este clocit și crescut, după cum se știe; de niște părinți adoptivi (deoarece cucul își depune ouăle în cuibul altor păsări), este în stare să-și recunoască părinții, sau mai bine zis neamul, pe care îl găsește de îndată ce poate să zboare. Omului îi trebuie însă un timp mult mai lung pentru a dobîndi această posibilitate de recunoaștere.

Etapa de la 2 la 7 ani este caracterizată de apariția limbajului, adică a acelor modele interne similare modelelor obiectelor și fenomenelor, care au apărut în primii doi ani, și care au capacitatea de a recunoaște, de a reacționa și la alte combinații de semnale decît cele generate de obictele și fenomenele respective. De aceea cuvintele vor putea ține locul obiectelor și fenomenelor pe care le reprezintă. În această etapă a inteligenței preoperatorii, copilul intră din biosfera în care trăiesc toate animalele în logosfera proprie omului.

În etapa a treia, de la 7 la 12 ani, apare pe lîngă modelul obiectelor și fenomenelor și pe lîngă modelele similare, care reprezintă limbajul, și modelul relațiilor dintre diferitele obiecte și fenomene și al relațiilor posibile dintre diferitele cuvinte. De accea în această etapă, a operațiilor concrete, copilul poate executa o serie întreagă de operații de asociere, de tranzitivitate sau de reversibilitate cu semnalele pe care le primește.

După 12 ani apare însă și modelul relațiilor dintre relații. De aceea după 12 ani copilul devine capabil să efectueze

operații formale cu un mare grad de abstractizare și conceptualizare. Copilului îi trebuie deci cel puțin 12 ani pentru a putea trece de la inteligența senzorială la inteligența rațională, de prelucrare superioară a informațiilor.

Prelucrînd informații, omul continuă însă să se perfecționeze neîncetat. Și în antropogeneză au existat, după cum remarcă V. Săhleanu, niște cicluri cibernetice, ca niște circuite de *feed-back*, în care informațiile și structura s-au stimulat reciproc. Creșterea cantității de informații a determinat perfecționarea structurii, iar perfecționarea structurii a dus la mai buna prelucrare a informațiilor. Creierul omului a ajuns în două milioane de ani de la un indice de inteligență de 30, cît avea probabil Homo habilis, la un indice de inteligență de 100, cît are astăzi Homo sapiens. Perfecționarea mijloacelor de prelucrare a informațiilor nu s-a realizat însă atît prin supradimensionarea creierului, care nu a mai crescut în ultimii 70 000 de ani (183), cît prin supraorganizarea lui, adică prin creșterea numărului de conexiuni dintre neuroni și mai ales prin apariția unor conexiuni din ce în ce mai adecvate pentru prelucrarea superioară a informațiilor.

Prin prelucrarea superioară a informațiilor a apărut și s-a dezvoltat cultura, adică cel de-al doilea canal de transmitere a informațiilor. Și omenirea a acumulat și acumulează mereu o imensitate de informații pe care le-a transmis și le transmite mereu, din generație în generație, de-a lungul acestui canal cultural.

Rolul educației devine astfel acela de a selecționa și de a găsi mijloacele cele mai adecvate pentru a le transmite mai departe, completînd astfel canalul genetic (128). Educația trebuie să mobileze cu informațiile corespunzătoare, după cum se exprimă A. Moles (89), creierul fiecărui om. Cu cît creierul său va fi mai mobilat, cu atît omul va fi mai cult și gîndirea sa va fi mai nuanțată pentru a putea cuprinde în mecanismele ei complexitatea, variabilitatea și subtilitatea lumii în care trăim.

Deși este supradimensionat și supraorganizat, creierul are totuși limitele sale. El are o capacitate informațională relativ limitată. De aceea în procesul educației, omul trebuie să asimileze informațiile cele mai valoroase, privind esența fenomenelor, regulile și legile lor de desfășurare. Prin intermediul acestor reguli și legi, creierul va putea intra mai ușor în posesia programelor cu care să acționeze,

în modul cel mai adecvat, asupra mediului înconjurător. Chiar dacă aceste reguli și legi nu vor reprezenta programele efective de funcționare, ele vor reprezenta niște fragmente capabile de a fi asamblate în programele euristice cu ajutorul cărora omul reușește să dirijeze desfășurarea fenomenelor.

Canalul genetic are, desigur, o importanță deosebită în determinarea ființei umane. Dar oricare ar fi calitățile sale genetice, omul nu poate fi conceput în afara canalului cultural. Prin intermediul canalului genetic el a moștenit capacitatea de a se adapta autoplastic, așa cum fac toate celelalte animale. Prin intermediul canalului cultural el dobîndește însă și posibilitatea de a se adapta aloplastic, adică de a modifica mediul înconjurător conform propriilor sale cerințe. Prin intermediul științei și al culturii omul și-a extins posibilitățile de a se opune celui de-al doilea principiu al termodinamicii. Prin intermediul științei și al culturii omul a reușit să instituie o anumită ordine și în mediul înconjurător, mărind astfel acea insulă de ordine din universul entropic, punînd bazele civilizației, care reprezintă de fapt o cultură în acțiune.

CAPITOLUL XV

EXPLOZIA INFORMAȚIONALĂ

Reprezentînd cel mai rapid mijloc de perfecționare a ființei umane, canalul cultural s-a dezvoltat foarte mult. Tot ceea ce descopereau oamenii, în existența și în căutările lor, s-a transmis apoi prin intermediul canalului cultural. Cuprinse în acel circuit de *feed-back* pozitiv, existent în antropogeneză, descoperirile și informațiile s-au înmulțit foarte mult. Și ca în orice domeniu în care intervine un *feed-back* pozitiv, prin accelerarea în cerc vicios, s-a ajuns, la o adevărată revoluție, care, petrecîndu-se foarte rapid, a luat chiar aspectul unei explozii cultural-informaționale.

De fapt, de-a lungul istoriei s-au înregistrat mai multe explozii informaționale (97). Prima explozie informațională a constituit-o apariția limbajului, care a oferit posibilitatea de a transmite experiența personală și altor indivizi din aceeași generație. A doua explozie informațională a constituit-o apariția scrisului, care făcea posibilă transmiterea experienței personale atît în cadrul aceleiași generații, cît și de la o generație la alta. Scrisul a completat astfel memoria umană și canalul genetic. Apariția tiparului a constituit a treia explozie informațională, făcînd posibilă multiplicarea documentelor într-un foarte mare număr de exemplare (77). Iar dezvoltarea vertiginoasă a mijloacelor de comunicație și de prelucrare a informațiilor a constituit cea de-a patra explozie informațională. Datorită acestor explozii universul informațional este într-o continuă expansiune, dublîndu-se la fiecare 10-15 ani.

Dezvoltarea vertiginoasă a industriei informaționale a făcut posibilă difuzarea în masă a informațiilor (93). Tirajul presei mondiale a depășit un miliard de exemplare. Există pe glob aproape un miliard de aparate de radio, 500 de

milioane de televizoare, 300 de mii de cinematografe și așa mai departe.

Dacă în 1665 apărea în întreaga lume o singură revistă științifică, în 1800 apăreau 100, în 1850 apăreau 1000, în 1900 apăreau 10 000, iar în 1950 apăreau aproximativ 50 000 de reviste. Aceste periodice au publicat de-a lungul timpului circa șase milioane de articole. Deoarece numărul articolelor crește într-un ritm de 500 000 de articole pe an, producția științifică realizată din 1700 pînă astăzi se va dubla în următorii 10—15 ani (115). Același lucru se va întîmpla și în producția de carte, pentru că cele 600 000 de titluri care apar în fiecare an într-un tiraj de peste opt miliarde de exemplare, vor putea depăși în trei decenii cele 20 de milioane de titluri care au apărut de la înființarea tiparului și pînă astăzi.

Dublarea informațiilor științifice se face prin creșterea numărului de cercetători. Pentru a se dubla informațiile numărul cercetătorilor trebuie să crească de două ori iar investițiile trebuie să crească de patru ori. Dublarea numărului de oameni de știință la fiecare 10—15 ani face că în 15 ani să apară și să desfășoare o activitate științifică tot atîția oameni de știință cîți au existat în toată perioada anterioară. Dacă stabilim la 45 de ani durata medie de activitate a unui om, înseamnă că de fiecare dată vor fi în viață pe lîngă cei $2 \times n$ oameni de știință apăruți în ultimii 15 ani și cei n oameni de știință existenți în cei 15 ani anteriori și cei n/2 oameni de știință existenți cu 30 de ani înainte. După cum arată De Solla Price (115), dublarea numărului de cercetători științifici la fiecare 10—15 ani face ca 80—90% din toți oamenii de știință care au trăit vreodată să fie contemporani cu noi. Iar 80—90% din activitatea științifică și din descoperirile care s-au făcut vreodată să se facă de fapt sub ochii noștri.

Pentru a putea publica toată producția științifică și literară sînt necesare aproximativ 20 de milioane de tone de hîrtie pe an.

Canalul cultural s-a dezvoltat deci într-un ritm atît de vertiginos, încît informațiile furnizate nu mai pot fi prelucrate în totalitatea lor de către individ. Dacă fondul informațional al omenirii se dublează la fiecare 10—15 ani, atunci numărul informațiilor crește în fiecare secundă cu 2×10 biți. Dar omul nu poate prelucra conștient decît 16 biți pe secundă și nu poate memora mai mult de un bit

pe secundă. Nici un om nu poate deci să citească toate cărțile care se publică, sau să vizioneze toate piesele, toate filmele și toate expozițiile care se prezintă. De aceea o mare parte din publicații rămîn necitite și un mare număr de piese sau de filme sînt vizionate de foarte puțini oameni.

S-a constatat, după cum remarcă De Solla Price, că 4800 din cele 9120 de periodice științifice ale Bibliotecii din Londra nu au fost citite deloc în cursul unui an. Iar 2274 dintre ele au fost citite o singură dată. Cu 40 din cele 9120 periodice s-au putut satisface 80% din cereri. Studiile statistice au arătat că din cele 50 000 de periodice doar 170 se bucură de popularitate mai mare.

Aceasta înseamnă că mai mult de jumătate de publicații nu sînt citite, că o mare parte din explozia informațională nu este absolut necesară la un moment dat. Dar informația care nu este absolut necesară este redundantă. De aceea o mare parte din explozia informațională este de fapt redundantă (129). Redundanța aceasta o întîlnim nu numai în canalul cultural, ci și în canalul genetic. Omul dispune de o garnitură dublă de cromozomi, adică de doi cromozomi de același fel. Gena este formată din două filamente de ADN complementare. Dancoff a formulat chiar principiul "excesului cu economie" în sistemele vii. Și creierul are o structură redundantă din moment ce prin moartea a cîteva zeci sau sute de mii de neuroni pe zi, funcționarea lui nu suferă pînă la un moment dat modificări evidente. Tot așa rinichii conțin mai mulți nefroni decît ar fi absolut necesari, iar o cincime din ficat este suficientă pentru a face față necesităților bazale.

Redundanța aceasta, pe care o întîlnim atît în canalul genetic, cît și în canalul cultural, reprezintă însă tocmai informația chemată să prevină sau să corecteze anumite erori, care ar putea să intervină, și intervin de fapt, în cursul transmiterii și prelucrării informațiilor. De aceea redundanța este absolut necesară în lupta cu cel de-al doilea principiu al termodinamicii.

CAPITOLUL XVI

REDUNDANȚA NECESARĂ

Deși s-ar putea să reprezinte uneori un exces, redundanța este totuși absolut necesară, deoarece în condițiile în care diferitele perturbații ar putea altera mesajul, ea încetează de a mai fi inutilă, devenind chiar necesară pentru prevenirea erorilor care ar putea apărea în timpul transmiterii și prelucrării informației.

În condițiile în care asupra mesajului acționează anumite perturbații, deosebirea dintre informațiile necesare și cele în exces devine foarte relativă. Într-un mediu perturbant este foarte greu de stabilit care informații sînt în exces și ar putea fi evitate fără a periclita transmiterea întocmai a mesajului la destinatar.

Redundanța este indisolubil legată de entropie. Cu cît entropia este mai mare, cu atît redundanța este mai mică. Adică cu cît nedeterminarea fenomenelor este mai mică, sau determinarea este mai mare, cu atît fenomenele fiind dinainte cunoscute, informațiile devin mai puțin necesare și deci mai redundante. Dacă nedeterminarea ar fi egală cu zero și deci toate fenomenele ar fi perfect determinate, atunci toate semnalele ar deveni redundante. În condițiile în care determinarea se împletește cu întîmplarea, atunci unele semnale vor aduce o informație, iar altele vor aduce o redundanță.

Informația medie H_0 pe care o aduce o literă dintr-o înșiruire absolut întîmplătoare este mai mare decît informația medie H_1 pe care o aduce o literă dintr-un text în care literele nu se succed la întîmplare. Diferența dintre H_0 și H_1 calculată după formula $R = 1 \frac{H_1}{H_0}$ reprezintă excesul de informație, adică redundanța. Ea devine egală

cu zero atunci cînd $H_1 = H_0$, adică atunci cînd literele continuă să fie absolut întîmplătoare și egală cu 1 cînd $H_1 = 0$, adică atunci cînd literele fiind perfect determinate de cele precedente nu mai aduc nici o informație prin apariția lor, care este nu numai presupusă, ci chiar obligatorie.

Într-o cercetare științifică în care nu se cunoaște dinainte determinarea fenomenelor, se acumulează o serie întreagă de informații care conduc în cele din urmă la o anumită concluzie. După ce se descoperă determinarea fenomenelor se poate constata că foarte multe din informațiile acumulate nu erau absolut necesare. În acest sens, H. Selye spunea că i-ar trebui mult mai puțin timp și mult mai puțină hîrtie dacă ar începe să studieze din nou sindromul general de adaptare. Cu cît se reduce din nedeterminarea fenomenelor, pe măsura înaintării cercetărilor, informațiile devin tot mai redundante. De aceea cercetătorii caută de multe ori redundanța pentru a-și consolida ipotezele sau teoriile lor, căci dacă într-o experiență se ajunge la rezultatele prevăzute înseamnă că rezultatele au fost corecte.

Cînd se expun apoi rezultatele cercetărilor se începe, de obicei, cu prezentarea cunoștințelor actuale, adică cu ceea ce se cunoaște în domeniul respectiv. Aceasta înseamnă că se începe, de obicei, tot cu redundanța. Deși nu este absolut necesară pentru expunerea rezultatelor, redundanța este extrem de folositoare cititorului pentru înțelegerea problemei. În redundanța respectivă cititorul găsește niște puncte de sprijin pentru a înțelege mai bine noutățile pe care le aduce autorul.

O cercetare științifică, sau o operă de artă, care ar fi complet lipsită de redundanță, ar fi absolut neinteligibilă. De aceea un mesaj devine estetic prin plasarea lui undeva între originalitatea perfectă, lipsită de orice fel de redundanță, și de aceea complet neinteligibilă, și banalitatea perfectă, extrem de inteligibilă, deoarece este total redundantă, dar lipsită de orice originalitate care să-i confere valoarea estetică (72, 89).

Simetria, echilibrul, repetiția, ritmul, rima, pe care le găsim în unele opere de artă, reprezintă de fapt redundanța. Această redundanță face previzibilă o parte din informația pe care vrea să ne-o comunice autorul. După versul lui M. Eminescu: "Sara pe deal buciumul sună cu jale" cititorul va putea prevedea cel puțin terminația versului următor: "turmele-l urc, stelele scapără-n cale".

Redundanța, adică excesul de informație pe care îl găsim în opera unui artist, îi determină stilul. Ceea ce este redundant, adică ceea ce poate fi găsit în toate operele lui, se transformă în stil. După stilul său el poate fi recunoscut dintre mai mulți autori.

O catedrală în stil gotic poate avea multe particularități, dar ea trebuie să aibă și anumite elemente comune cu alte catedrale de același stil. Și tocmai aceste elemente comune definesc stilul respectiv.

Fără redundanță un roman ar fi o telegramă. Dacă el nu ar fi plin de amănunte, care nu sînt absolut necesare, autorul nu ne-ar putea introduce în atmosfera pe care vrea să o descrie. Fără redundanță limbajul ar fi sec, lipsit de coloratură, și chiar de nuanțele care asigură receptorului o mai bună înțelegere a mesajului și un anumit sentiment de securitate, care derivă din faptul că e mai bine și mai clar informat. De aceea, omul simte nevoia unei comunicări (105), care — chiar dacă nu îi aduce nimic nou și poate tocmai pentru că nu îi aduce nimic nou — îi întărește sentimentul de liniște și de securitate, subliniind că nimic nou și periculos nu s-a întîmplat și nu se întîmplă.

Redundanța îmbogățește limbajul, oferindu-i o anumită eleganță. De fapt, eleganța, chiar și cea vestimentară, este indisolubil legată de redundanță. O haină este elegantă nu pentru că are două mîneci, spre exemplu, ci pentru că mînecile sînt mai largi decît ar fi absolut necesar, sau au o margine dantelată, sau sînt tivite cu o blană care ar putea să lipsească, care deci tocmai prin redundanța lor îi conferă frumusețe deasupra valorilor sale strict funcționale.

Fără această redundanță, pe care, nefiind absolut necesară, putem să o manevrăm între anumite limite, noi nu am putea avea un stil propriu de exprimare, după care putem fi de multe ori recunoscuți, căci nu ar exista nimic caracteristic, care să poată fi recunoscut și prevăzut dinainte și totul ar fi absolut întîmplător și nedeterminat. Or, stilul nostru, și al oricărui om, este reprezentat tocmai de ceea ce nu este absolut întîmplător și nedeterminat, adică de ceea ce este mai peren și mai caracteristic, în opera unui artist și în modul de comportare al unui om. Fără redundanță lumea ar fi de neînțeles, ar fi formată numai din surprize și nedeterminare.

Natura împletește însă determinarea cu întîmplarea și informația cu redundanța. Ea apelează la un exces de reprezentări în care aspectul util se împletește cu aspectul, numai în aparență gratuit, al formelor și al culorilor. În spatele lor se află însă foarte multă redundanță, care deși nu este absolut necesară nu s-ar putea spune nici că este absolut inutilă. Florile au, pe lîngă structurile absolut necesare reproducerii, cum ar fi pistilul, receptaculul și staminele, care intervin în formarea fructelor și semințelor, și o mulțime de petale, care de care mai frumos colorate. Ele sînt redundante dintr-un anumit punct de vedere, căci nu sînt absolut necesare pentru formarea fructelor și a semințelor, deși joacă un anumit rol în atragerea insectelor care produc polenizarea. Pentru om, ele sînt necesare și din alt punct de vedere, căci florile sînt cultivate de cele mai multe ori tocmai pentru petalele lor. Și poate că tocmai prin redundanța pe care o conțin, oferirea florilor, gingașe, frumoase și în aparență inutile, conferă celui care le primește o anumită stare de confort.

Fără aceste petale atît de frumos colorate, fără penele struțului, fără coada lungă și redundantă a fazanului, fără blana argintie a vulpii sau coarnele atît de ramificate ale cerbului, lumea ar fi mai puțin redundantă, dar și mai puțin frumoasă.

Dacă ar trebui să demonstrăm că deși redundanța nu este absolut necesară, ea este, totuși, de multe ori foarte utilă, ar fi suficient să arătăm că redundanța codului genetic poate preveni foarte multe îmbolnăviri. Codul genetic este un cod redundant, deoarece același aminoacid poate fi codificat de mai multe triplete (195). Așa spre exemplu, alanina poate fi codificată de tripletul CCG, dar și de tripletele UCG și ACG. Tot așa glicina este codificată de tripletele UGG, AGG și CGG și așa mai departe. Înlocuirea uracilului din tripleta UGG cu adenina duce la apariția tripletei AGG, care codifică însă tot glicina. De aceea unele mutații, deși duc la apariția unei triplete noi, nu duc și la tulburarea secvenței aminoacizilor din molecula de proteină, deoarece tripleta obținută codifică de multe ori același aminoacid.

Fără redundanța structurală, sistemul nu ar fi putut recurge la organizarea supracelulară. Fără redundanța structurală nu ar fi fost posibilă apariția mecanismului de *feed-before*, care pentru a putea avea libertatea de alegere,

trebuie să dispună de mai multe structuri decît ar fi absolut necesar într-o anumită situație.

Un semnal care nu este redundant presupune o anumită readaptare. În funcție de noutatea pe care o aduce, el va putea reprezenta chiar un semnal de alarmă. De aceea informația este anxiogenă. Iar redundanța care nu presupune nici o readaptare, ci dimpotrivă confirmă că organismul este bine adaptat, conferă sentimentul de liniște, de siguranță și de relaxare. De aceea cîntecele de leagăn, spre exemplu, conțin foarte multă redundanță. Repetiția „nani, nani", precum și faptul că nimic nou nu s-a produs și nu se va produce, conferă sentimentul de liniște și de relaxare necesar adormirii, așa cum se întîmplă în cîntecul de leagăn al lui I. Minulescu:

Nani, nani . . .
Dormi în paza nesecatului izvor
De priviri
Ce te-nfășoară ca-ntr-o haină de mătase
Nani, nani. . .
Ochii mamei au vegheat întreaga noapte,
Și-acum dormi, căci obosite dorm și florile în vase,
Și parfumurile lor,
Toate, unul cîte unul, pe-al tău leagăn se cobor,
Nani, nani . . .
Dormi în vraja împletiturilor de șoapte
Ce pătrund printre perdele
Și te-ndeamnă;
Dormi, căci somnul a cuprins de mult grădina,
Lacul,
Nuferii,
Castanii,
Stînjenei,
și glicina-
toate dorm.
. . . . . .
Nani, nani . . .

Dar nu numai cîntecele de leagăn, ci toate creațiile artistice trebuie să conțină o anumită redundanță fără de care ele ar fi de neînțeles. De aceea pentru a putea capta atenția cititorului, pentru a se putea face înțeles și pentru a putea cîștiga o anumită valoare estetică, artistul trebuie să realizeze un anumit echilibru între informație și redundanță. Dacă opera lui are prea puțină redundanță, atunci el nu va putea fi înțeles, Dacă opera lui are însă o cantitate prea mare de redundanță, atunci ea va fi extrem de banală și desuetă. Desigur că nu toți artiștii ajung la același raport între informație și redundanță. În opera lui M. Eminescu redundanța medie este de 10,6% (70).

Toate mesajele pe care le primește omul trebuie să conțină o anumită cantitate de redundanță. Iar procesul de învățare are nu numai rolul de a achiziționa informații noi, ci și rolul de a transforma informația în redundanță, adică din ceva imprevizibil în ceva care poate fi prevăzut.

CAPITOLUL XVII

ACTIVITATEA UMANĂ CA O SUCCESIUNE DE PROCESE INFORMAȚIONAL-DECIZIONALE

Orice activitate ar desfășura, chiar și atunci cînd desfășoară o activitate fizică, omul trebuie să efectueze și niște procese informațional-decizionale. Atunci cînd proiectează o casă, spre exemplu, el culege mai întîi informațiile necesare, pe care le prelucrează după anumite reguli pentru a alege soluțiile, adică deciziile corespunzătoare pe care le așterne la început pe hîrtie și apoi le aplică pe teren. Atunci cînd începe să sape fundația casei, el continuă de asemenea să culeagă informațiile necesare pentru a ajunge iarăși la deciziile cele mai adecvate pe care le transpune, cu ajutorul unor unelte, pe teren. Pentru ca fundația pe care o va săpa să fie orientată corect și să aibă dimensiunile corespunzătoare, pentru ca mișcările pe care el le efectuează să fie adecvate, omul are mereu nevoie de informații. Cu ajutorul informațiilor pe care le culege de pe planul pe care l-a întocmit, sau de pe terenul pe care trebuie construită casa, el va stabili decizia cea mai adecvată de fiecare dată.

Atunci cînd sapă fundația cu excavatorul, respectiv cu mijloace mecanizate, nemaifiind obligat să îndeplinească cu mușchii săi deciziile luate, omul este totuși obligat să culeagă informațiile necesare pentru a ajunge la deciziile pe care să le îndeplinească cu mașina. Rolul omului în sistemele mecanizate constă tocmai în culegerea informațiilor necesare și în prelucrarea lor pentru a ajunge la deciziile corespunzătoare. Chiar dacă nu mai efectuează muncile fizice, pe care le va efectua mașina, omul trebuie să desfășoare în continuare procesele informațional-decizionale. De aceea el trebuie să urmărească mereu modificările elementului, sau obiectului, asupra căruia acționează, modificările din cîmpul în care este plasat acest element, modul de funcționare a mașinii respective și chiar starea propriului său

organism. Deosebirile dintre situația prezentă și cea trecută, precum și dintre situația prezentă și cea anticipată, vor reprezenta tot atîtea surse de informație. Informațiile culese din diferite puncte și momente ale cîmpului de activitate, de la diferitele indicatoare și aparate, sînt apoi integrate pentru a se ajunge la un tablou de ansamblu al situației, pentru a se stabili dacă situația ridică vreo problemă și ce anume problemă ridică. O problemă se ridică atunci cînd modificările neprevăzute împiedică desfășurarea unei activități conform programului stabilit anterior și se impune readaptarea lui. Diferitele informații unilaterale, sau mai bine zis semnalele de ordin inferior vor fi conduse spre creier unde vor fi superizate pentru a se descoperi informația de ordin superior, prin prelucrarea căreia se va alege decizia cea mai adecvată în condițiile respective.

Decizia adoptată urmărește să stabilească o corespondență optimă între intrări și ieșiri, sau mai bine zis între situația de fapt și rezultatele pe care el ar vrea să le obțină. Și acest proces decizional, această corespondență, se stabilește și se restabilește ori de cîte ori apar situații și informații noi în cadrul activității, care devine astfel o succesiune de procese informațional-decizionale (21).

Alegerea deciziei, adică a unei căi de ieșire, depinde de utilitatea pe care organele la care conduce calea respectivă le-ar putea avea în rezolvarea situației. De obicei, alegerea deciziei se face cu ajutorul probabilităților logice și subiective, pe care le acordă decidentul. Informațiile pe care le culege din mediu îi servesc tocmai pentru a aprecia cît mai bine, pentru a apropia cît mai mult probabilitățile sale subiective de probabilitățile obiective de desfășurare a evenimentelor.

Înainte de alegerea unei decizii se elaborează mai multe variante posibile, care sînt ierarhizate în funcție de utilitatea lor. La primirea informațiilor, generate de condițiile concrete din mediu, sistemul trebuie să aleagă varianta cea mai bună, care are cea mai mare probabilitate de a fi cea mai utilă. De modul în care sistemul apreciază cei doi factori, probabilitatea și utilitatea diferitelor variante, va depinde capacitatea sa de păstrare a identității și stabilității.

Datorită succesiunii, uneori destul de rapidă, a situațiilor, sistemul este obligat să ia anumite decizii în timp util. De multe ori, el nu are timp să-și culeagă toate informațiile necesare, sau nu are timpul necesar să le prelucreze. Atunci

cînd dispune de toate informațiile necesare și poate prevedea cu probabilitate maximă evoluția fenomenelor, deciziile sînt luate în condiții de certitudine. De cele mai multe ori însă, sistemul nu dispune de toate informațiile necesare și fenomenele, fiind mai puțin determinate, nu pot fi prevăzute cu o probabilitate maximă, iar sistemul va fi obligat să adopte deciziile în condiții de risc și de incertitudine.

Desigur că de-a lungul procesului informațional-decizional, deciziile care se succed, ca pașii unui algoritm, se vor influența unele pe altele, deoarece rezultatul unei decizii reduce din nedeterminarea fenomenelor. Spre exemplu, dacă în procesele anterioare nu se obține rezultatul dorit, omul are tendința de a-și reduce aspirațiile ulterioare și invers, dacă obține rezultatul dorit, omul are tendința de a-și ridica nivelul aspirațiilor sale ulterioare (28).

Deciziile pe care le ia omul în cursul activităților sale nu sînt însă numai niște acte pur raționale, ci și niște acte emoționale și sentimentale, deoarece în tot ceea ce îndeplinește, omul pune și amprenta emoțiilor și sentimentelor sale. De aceea chiar în aceeași situație indivizi diferiți vor adopta decizii diferite, în funcție de factorii motivaționali și afectivi. Colericii vor lua decizii rapide, uneori chiar riscante și pripite. Decizia mai depinde și de vîrstă. Vîrstnicii iau de obicei decizii mai prudente. Dar decizia depinde în orice caz de gradul de oboseală, care duce la creșterea numărului de erori (28).

Pentru a înlătura subiectivismul și pentru a ușura alegerea deciziilor optime, care devin uneori imposibil de găsit prin metodele tradiționale, s-au elaborat o serie întreagă de metode științifice din ce în ce mai perfecționate. Așa a apărut, spre exemplu, programarea matematică, care caută să determine maximul sau minimul unor funcții în diferite condiții. Dacă funcțiile sînt liniare atunci se apelează la programarea liniară. Dacă sînt neliniare se apelează la programarea neliniară. Dacă sînt aleatoare se apelează la programarea stohastică. Iar dacă sînt secvențiale se apelează la programarea dinamică. Cu ajutorul programării matematice omul poate lua deciziile cele mai adecvate într-o serie întreagă de probleme cum ar fi utilizarea optimă a resurselor, planificarea optimă a producției, optimizarea transporturilor etc.

Datorită complexității problemelor de rezolvat s-a dezvoltat o ramură nouă, cercetarea operațională, știința conducerii sau managementul, care caută să abordeze și să rezolve problemele în ansamblul lor (1). Această abordare interdisciplinară este superioară metodelor clasice, care abordînd un singur aspect sau element, pierdeau din vedere interdependența sistemică a fenomenelor. Cercetarea operațională abordează toate elementele care intervin în procesul deciziei: scopul, decidentul, mulțimea alternativelor, mulțimea consecințelor diferitelor alternative și utilitatea lor.

Deși alegerea deciziilor se face în funcție de scop, spre deosebire de calculatorul electronic, omul este capabil să-și aleagă și scopurile. Alegerea scopurilor este și ea tot o decizie care se face pe baza unor criterii și așa mai departe. Desigur că chiar înainte de alegerea lor, este necesar ca decidentul să stabilească dacă scopurile propuse pot fi atinse, dacă ele sînt dependente sau independente, dacă sînt compatibile sau incompatibile. Pentru atingerea scopurilor propuse este necesar să se aleagă deciziile cele mai adecvate comparînd utilitatea diferitelor alternative posibile și alegînd alternative cu utilitatea cea mai mare.

Pentru a înlătura subiectivismul și a ușura alegerea, J. Neumann și O. Morgenstern (94), plecînd de la conceptul de preferință și de indiferență, au elaborat o metodă de determinare cantitativă a utilității. După J. Neumann, decidentul, care compară două alternative posibile, A și B, poate manifesta una din următoarele trei atitudini:

1. Preferă pe A lui B (APB).
2. Preferă pe B lui A (BPA).
3. Nu preferă nici o alternativă, ambele sînt indiferente (AJB).

Desigur că diferitele alternative au probabilități diferite de realizare. De aceea trebuie luate în considerare și probabilitățile lor, căci degeaba preferăm pe A lui B dacă șansele realizării lui A sînt minime.

Dacă vrem să determinăm utilitatea $u(A_i)$ a unei alternative A_i plecînd de la utilitățile $u(A_1)$ și $u(A_0)$ a două alternative A_1 și A_0 între care există relația A_1PA_0, și dacă știm că $A_1PA_iPA_0$, atunci va trebui să apreciem probabilitatea p pentru care $A_iJ[A_i(1-p)A_0]$.

Spre deosebire de metoda lui J. Neumann și O. Morgenstern, există și metode care nu țin seama de probabilități, cum ar fi metoda de înjumătățire a intervalului (21).

În metoda de înjumătățire a intervalului este suficient a cunoaște utilitatea cea mai avantajoasă uA și cea mai puțin avantajoasă uB pentru a putea obține utilitatea alternativei uC cu ajutorul relației: $uC = \frac{1}{2}uA + uB$. Introducînd în relație uC se poate afla utilitatea uE aflată la jumătatea intervalului AC și așa mai departe.

Dacă mărimea utilităților este de multe ori o problemă foarte dificil de stabilit, apoi nici alegerea alternativelor nu este o problemă chiar atît de simplă. Dacă este ușor a alege alternativa cu utilitatea cea mai mare, situația se complică foarte mult în cazul în care, așa cum se întîmplă de obicei, partenerul reacționează în așa fel încît se opune obținerii avantajului scontat. În cazul în care îndeplinirea deciziei întîmpină o anumită rezistență, decidentul trebuie să dea dovadă de o anumită abilitate, care a fost studiată, după cum am văzut, de către teoria jocurilor (29, 94, 103). În cadrul jocului cel puțin unul dintre parteneri este inteligent și prudent, analizează situația și hotărăște în consecință asupra acțiunilor sale.

Acțiunile fiecărui partener fac parte dintr-o strategie care urmărește atingerea scopului propus. Pentru aceasta el trebuie să urmărească, de multe ori, nu numai cîștigul cel mai mare, ci și pierderea cea mai mică. Adică decidentul nu urmărește de multe ori un cîștig maxim, cît un cîștig mediu maxim. Iar cîștigul nu trebuie confundat cu utilitatea care este, după Bernulli, egală cu logaritmul cîștigului.

Pe lîngă jocurile cu doi parteneri, există și jocuri cu trei sau cu mai mulți parteneri, în care se realizează anumite coaliții între parteneri.

Jocurile cu trei parteneri se numesc triade (46). În triade există trei mulțimi de strategii posibile (X, Y, Z, U_1, U_2,U_3). Dacă jucătorul numărul unu alege strategia x_1 cu probabilitatea $p_1(x_1)$, atunci jucătorul numărului doi alege strategia y_1, cu probabilitatea $p_1(y_1/x_1)$, iar jucătorul numărul trei alege strategia z_1 cu probabilitatea $p_1(z_1/x_1 \cdot y_1)$. Apoi jucătorul numărul unu alege strategia x_2 cu probabilitatea $p_2(x_2/x_1, y_1, z_1)$ și așa mai departe. Triadele se comportă ca un sistem cibernetic cu conexiune inversă, în care strategia primului jucător influențează strategia celui de-al doilea jucător, strategia acestuia pe a celui de-al treilea. Iar acesta o influențează pe a celui dintîi.

De multe ori în jocurile cu mai mulți parteneri apar coaliții, în care unii dintre parteneri se unesc între ei. Este interesant de remarcat că dacă un jucător urmărește să realizeze o coaliție majoritară cu unul dintre parteneri, el va prefera pe cel mai slab (46). Cel mai puternic nu ar avea interesul să intre într-o coaliție, deoarece are asigurat cîștigul cel mai mare. Pe de altă parte, coaliția cu cel mai slab este mai avantajoasă, deoarece jucătorul cel mai slab va avea și pretențiile cele mai mici. Dacă coaliția a învins pe cel mai puternic, acesta devenind mai slab, se va coaliza și el la rîndul său cu celălalt partener, împotriva celui mai puternic, coaliția putînd continua astfel la nesfîrșit.

Orice activitate ar desfășura omul, indiferent dacă este mecanic, constructor, dispecer, arhitect, compozitor, inginer sau medic, el trebuie să primească mereu anumite informații și alege de fiecare dată deciziile corespunzătoare, pe care să le îndeplinească, să le aplice în realitate.

Chiar dacă nu apelează întotdeauna la metodele matematice, el desfășoară o succesiune de procese informațional decizionale. El dispune, după cum am văzut, de structurile anatomice, care sînt de fapt niște structuri logice, necesare desfășurării jocului, pe care trebuie să îl poarte, pe foarte multe planuri, cu mediul (132, 139, 154).

Pentru a putea purta acest joc, omul ca adversar inteligent, care preferă jocul cu informație completă, trebuie să prelucreze, de multe ori, o cantitate foarte mare de informație într-un timp foarte scurt. De aceea el a căutat și a reușit să construiască aparate care să-l ajute în prelucrarea acestor informații, amplificîndu-și astfel, cu ajutorul lor, inteligența, tot așa cum și-a amplificat forța musculară cu ajutorul mașinilor mecanice.

CAPITOLUL XVIII

INTELIGENȚA ARTIFICIALĂ

Deoarece jocul cu informație completă este mai avantajos, omul a căutat să culeagă cît mai multe informații despre mediul în care trăiește și muncește. Atunci cînd organele sale de simț, care nu pot sesiza obiecte extrem de mici, sau extrem de îndepărtate, sau nu pot sesiza deloc prezența unor fenomene, cum ar fi radiațiile nucleare, atunci cînd organele de simț s-au dovedit deci insuficiente, omul a inventat aparatele necesare cu care să poată recepționa și aceste informații. Așa a apărut microscopul, telescopul, contorul de radiații nucleare, radioul, televizorul și foarte multe aparate și instrumente care umplu casa, dar mai ales mediul de muncă al omului modern. Cu ajutorul numeroaselor aparate și instrumente, situate în casa, în laboratoarele și în tablourile de comandă ale aproape tuturor mașinilor și instalațiilor, omul a ajuns să primească, la un moment dat, o cantitate atît de mare de informații, încît de multe ori nu le mai poate prelucra în timp util.

De aceea, pe lîngă aparatele și instrumentele care îl ajută să recepționeze cît mai multe informații, omul a căutat să construiască și aparate cu care să poată prelucra mai ușor și mai rapid foarte numeroasele informații.

Încercări de a construi aparate de prelucrare a datelor, sau a informațiilor, au existat de foarte multă vreme. Pascal și Leibnitz au conceput, în secolul al XVII-lea, niște dispozitive mecanice de calcul, pentru a-l putea ajuta pe om în efectuarea unor operații aritmetice. Dispozitivele lor erau formate dintr-un sistem de rotițe cu 10 dinți. Adunarea însemna învîrtirea unei rotițe, care reprezenta unitățile, cu un număr de dinți corespunzător sumei celor doi termeni. Dacă termenii erau 3 și 4, atunci rotița se învîrtea cu trei dinți și apoi cu încă patru dinți, ceea ce reprezenta

în total șapte dinți. Dacă suma termenilor depășea 10, așa cum se întîmpla în cazul termenilor 7 și 8, atunci se făcea un transport la rotița alăturată, care reprezenta zecile, iar ceea ce trecea peste zece rămînea la rotița unităților și așa mai departe.

Prin 1834, matematicianul englez Ch. Babbage a elaborat principiile de funcționare ale unei mașini de calcul, principii care pot fi întîlnite și la calculatorul modern de astăzi. Ch. Babbage și-a conceput mașina din trei părți: magazia, moara și comanda. Magazia cuprinde, ca și memoria calculatorului modern de astăzi, toate datele ce urmau a fi prelucrate. Moara, sinonimă cu blocul de calcul al calculatorului modern, era cea care trebuia să prelucreze datele respective. Iar comanda, sinonimă cu blocul de comandă al calculatorului electronic, asigura funcționarea automată a mașinii.

În 1887 H. Hollerith a realizat un sistem mecanic de prelucrare a datelor cu ajutorul cartelelor perforate.

Prin 1920 au apărut mașinile electronice, iar prin 1940 s-au introdus în construcția calculatoarelor releele, care funcționau mult mai rapid. Cu ajutorul releelor care pot închide și deschide un circuit și al roților numărătoare s-a construit în 1944 prima mașină de calcul MARK I, capabilă să efectueze automat o succesiune de operații.

Pentru a mări viteza de lucru și pentru a înlătura dificultățile legate de funcționarea dispozitivelor mecanice, releele și rotițele numărătoare au fost înlocuite cu tuburi electronice. Cu 18 000 de tuburi electronice a fost construit, prin 1946, primul calculator electronic denumit ENIAC, care lucra de 1000 de ori mai repede decît MARK I. Rotița cu zece dinți a lui Pascal a fost înlocuită în ENIAC cu un bloc de zece tuburi electronice legate în circuit (fig. 43). Tuburile electronice, ca și releele, erau folosite ca elemente bistabile. Ca și releele, care pot fi închise sau deschise, tuburile electronice, deși nu sînt binare prin construcția lor, sînt folosite totuși ca elemente binare, utilizîndu-se în acest scop numai cele două situații extreme de conducere a curentului și ignorîndu-se variațiile dintre ele. Apariția unui impuls aduce elementul bistabil din starea A în starea B, sau din starea 0 în starea 1. La primirea celui de-al doilea impuls elementul bistabil revine în starea zero transmițînd însă un impuls elementului bistabil următor. Astfel, dacă primele două elemente din blocul numărător se află în

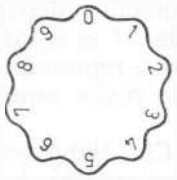


Fig. 43. Spre deosebire de roata numărătoare a lui Pascal, calculatorul Eniac folosea 10 elemente bistabile aranjate în serie. Un impuls aduce primul element din poziția 0 în poziția 1. Al doilea impuls readuce primul element în poziția 0, trecînd însă al doilea element în poziția 1 și așa mai departe.

starea 1 înseamnă că s-au numărat trei impulsuri. Primul a dus la trecerea primului element din poziția 0 în poziția 1. Al doilea a readus primul element în poziția 0, dar a transmis un impuls celui de-al doilea element bistabil care a trecut în poziția 1. Cel de-al treilea impuls va aduce însă din nou primul element în poziția 1 și așa mai departe.

Deoarece tuburile electronice au un volum foarte mare și consumă foarte multă energie, ele au fost înlocuite cu tranzistori. Calculatorul ENIAC, care era format din 18 000 de tuburi electronice, avea o greutate de 300 de tone și consuma 150 kw.

Tranzistorii, care au înlocuit tuburile electronice mai mari și mai greoaie, au capacitatea de a conduce mai ușor curentul electric de la cristal spre conductor decît de la conductor spre cristal. De aceea și tranzistorii ca și tuburile electronice, releele sau miezurile de ferită, din care sînt construite calculatoarele electronice, sînt deci tot elemente bistabile.

Așadar, cel mai adecvat mod de numărare și de înscriere a datelor în calculatorul electronic este sistemul binar. Pentru a număra în baza doi, elementul bistabil, fie el releu, tub electronic sau inel de ferită, aflat în starea 0 va trece în starea 1. Iar dacă se află în starea 1 va trece în starea 0, transmițînd, sau transportînd, cum se mai spune, un impuls care va aduce în starea 1 elementul următor.

Pentru a putea lucra astfel, calculatorul electronic trebuie să convertească datele de intrare, reprezentate de obicei

în sistem zecimal sau literal, în sistem binar. Iar la ieșire să reconvertească datele rezultate din procesele de calcul, efectuate în sistem binar, din nou în sistem zecimal sau literal. Convertirea și reconvertirea se fac după un cod (fig. 44).

Există, după cum arată J. S. Murphy (91), și calculatoare care lucrează în sistem binar-zecimal, care nu convertesc întregul număr în sistem binar, ci doar fiecare cifră în parte. Adică în loc să convertească întregul număr zecimal, 15 spre exemplu, și să îl scrie 1111, așa cum se scrie el în sistem binar, ele convertesc cifra unu separat și cifra cinci separat.

Datele care urmează să fie prelucrate de către calculatorul electronic sînt înscrise mai întîi pe niște suporturi speciale, cum ar fi cartelele perforate, benzile perforate sau benzile magnetice.

0	1	0	0	0	0	1	1	J	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	K	0	1	0	0	1	0	1
2	1	0	0	0	1	0	1	L	0	1	0	0	1	1	0
3	1	0	0	0	1	1	0	M	1	1	0	0	1	1	1
4	0	0	0	0	1	1	1	N	1	1	0	1	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	O	0	1	0	1	0	0	1
6	1	0	0	1	0	0	1	P	0	1	0	1	0	1	0
7	1	0	0	1	0	1	0	Q	1	1	0	1	1	1	1
8	0	0	0	1	0	1	1	R	0	1	0	1	1	0	0
9	1	0	0	1	1	0	0	S	1	1	1	0	1	0	1
A	1	0	1	0	1	0	0	T	1	1	1	0	1	1	0
B	0	0	1	0	1	0	1	U	0	1	1	0	1	1	1
C	0	0	1	0	1	1	0	V	0	1	1	1	0	0	0
D	1	0	1	0	1	1	1	W	1	1	1	1	0	0	1
E	1	0	1	1	0	0	0	X	1	1	1	1	0	1	0
F	0	0	1	1	0	0	1	Y	0	1	1	1	0	1	1
G	0	0	1	1	0	1	0	Z	1	1	1	1	1	0	0
H	1	0	1	1	0	1	1	+	0	1	0	1	0	0	0
I	0	0	1	1	1	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 44. Codul de conversie a datelor alfanumerice în sistem binar (după J. Murphy). După cum se vede, cifra 0 nu este codificată cu 0000, ci cu 0011, fiind vorba deci de un cod cu exces trei, care este cel mai popular deoarece ușurează transportul și complementarea.

Cartela perforată este confecționată dintr-un carton cu anumite proprietăți de rezistență și elasticitate, de dimensiuni standardizate. Pe fața cartelei sînt imprimate, în linie dreaptă, pe rînduri orizontale, cifrele de la 0 la 9 (fig. 45). Deasupra rîndului 0 se mai află două rînduri necesare pentru înregistrarea literelor și a semnelor aritmetice. Cartela poate avea 80—90 de coloane. Cifrele și literele pe care vrem să le introducem în calculator se înregistrează nu pe rînduri, ci pe coloane. Pentru înregistrarea unei cifre se perforează cartela la intersecția coloanei respective cu linia corespunzătoare cifrei respective. Înregistrarea literelor sau a semnelor aritmetice se face după un cod special (65). Litera *A*, spre exemplu, se va înregistra printr-o perforație pe linia 0 și una pe linia 12 de deasupra liniei 0 și pe coloana de sub litera *A*. Litera *B* se va înregistra printr-o perforație pe linia 1 și una pe linia 12 etc.

Datele înscrise pe cartelele perforate sînt citite electric, cu ajutorul unei perii, care trecînd peste cartela perforată stabilește anumite contacte electrice, sau optic, cu ajutorul unor celule fotoelectrice.

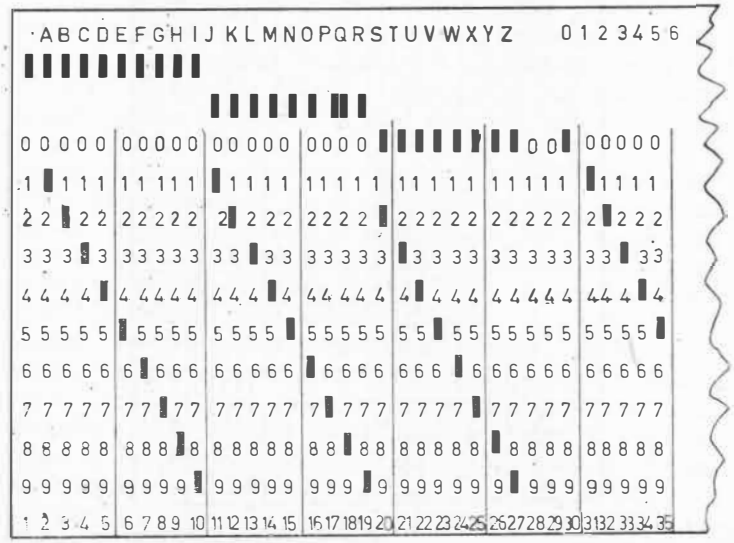


Fig. 45. Reprezentarea schematică a unei cartele perforate. Dreptunghiurile negre reprezintă perforațiile literelor și cifrelor înșiruite pe rîndul de sus al cartelei.

De la blocul de intrare, care poate citi pînă la 2000 de cartele pe minut, datele de intrare transformate în semnale electrice și convertite în sistem binar sînt introduse în memoria calculatorului.

Memoria calculatorului este formată din inele de ferită, tambure, discuri sau benzi magnetice. Inelele de ferită, din care este formată memoria internă a calculatorului, reprezintă fiecare cîte o celulă elementară de memorie (fig. 46). Ele se vor putea magnetiza într-un sens sau în altul, în funcție de sensul curentului care parcurge firele ce străbat inelele respective. De aceea fiecare inel, putîndu-se afla în două stări distincte, va putea memora un bit. Inelele sînt ordonate într-o rețea aranjată în așa fel încît calculatorul să se poată adresa la opt inele, sau la un multiplu de opt. Aceste opt inele care pot memora opt biți formează un octet, sau un bait, cum i se mai spune. Ele reprezintă o adresă, sau o locație în memoria calculatorului. Iar informația care se poate păstra într-o astfel de locație formează un cuvînt.

Benzile magnetice, sau discurile magnetice, funcționează și ele, ca și inelele de ferită, tot după principiul binar. Anumite porțiuni ale lor pot fi magnetizate sau nu, putînd stoca astfel o mare cantitate de informație în memoria externă a calculatorului electronic. Un pachet de 12 discuri Memorex poate memora 7 250 000 de octeți. Timpul de acces la benzi și la discuri este însă mai lung decît timpul de acces la memoria de ferită. Timpul de acces la memoria externă este de 125 ms iar timpul de acces la memoria internă este de 2 ms (1 microsecundă = 10^{-6} secunde).

Pentru a rezolva o problemă cu ajutorul calculatorului electronic, ea trebuie mai întîi enunțată cît mai clar pentru a putea reprezenta toate datele ei pe cartele sau pe benzi

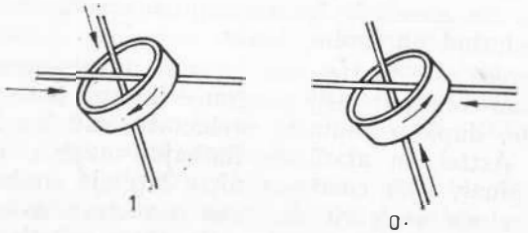


Fig. 46. Reprezentarea unui inel de ferită care poate memora o informație 1 sau 0 în funcție de sensul curentului care străbate firele din centrul lor.

perforate. Aceste date sînt apoi preluate de dispozitivele de intrare și înscrise în memoria calculatorului (5).

Calculatorul va trebui să le prelucreze în așa fel încît să ofere soluția problemei. Dar deși dispune de toate datele problemei, el nu știe încă cum să le prelucreze. Adică nu știe ce operații și în ce succesiune să efectueze cu ele. Acest lucru trebuie să i-l comunice omul, care a enunțat și problema și i-a oferit datele ei. De aceea înainte de a oferi și a cere calculatorului să rezolve o problemă, omul trebuie să elaboreze și să-i ofere calculatorului și algoritmul, adică regulile ei de rezolvare. Algoritmul trebuie să reprezinte succesiunea de reguli care să indice exact modul ei de rezolvare (71). Algoritmul constă din unul sau mai mulți pași finiți. Pașii algoritmului se execută unul după altul, dacă nu se indică altfel. În matematică se apelează foarte des la algoritmi. Printr-un algoritm se poate afla, spre exemplu, cel mai mare divizor comun. În acest algoritm se pornește de la faptul că cel mai mare divizor comun a două numere întregi, m și n $(m > n)$, este egal cu cel mai mare divizor comun al numerelor n și r. Numărul r reprezintă restul împărțirii lui m la n. Algoritmul acesta are patru pași. Pasul unu arată că dacă $m < n$, numerele se vor schimba între ele, ceea ce se notează cu $m \leftrightarrow n$. Pasul al doilea arată că trebuie să împărțim pe m la n și să găsim restul r. Pasul al treilea arată că dacă $r = 0$ atunci n este cel mai mare divizor comun. Pasul al patrulea arată că dacă $r \neq 0$, atunci se înlocuiește m cu n și n cu r, ceea ce se poate scrie $m \leftrightarrow n$ și $n \leftrightarrow r$ și se reia algoritmul de la pasul doi.

Un algoritm poate fi reprezentat grafic, cu ajutorul unor anumite simboluri, obținîndu-se o schemă foarte sugestivă de rezolvare a problemei respective (fig. 47). Dar acest algoritm nu poate fi înțeles de către calculator. De aceea omul trebuie să-i ofere aceste instrucțiuni într-un limbaj care să-i fie accesibil. Iar limbajul accesibil trebuie să fie în primul rînd un limbaj binar.

Deoarece este foarte greu de scris un program în sistem binar, s-au conceput niște programe intermediare, care să fie accesibile, după o anumită prelucrare atît mașinii cît și omului. Astfel, în afară de limbajul mașinii, reprezentat în cod binar, s-au conceput niște limbaje simbolice, algoritmice, altele nealgoritmice, sau conversaționale, care sînt traduse în cele din urmă, tot de către calculator, în cod binar. Programele scrise în alt sistem decît cel binar, în

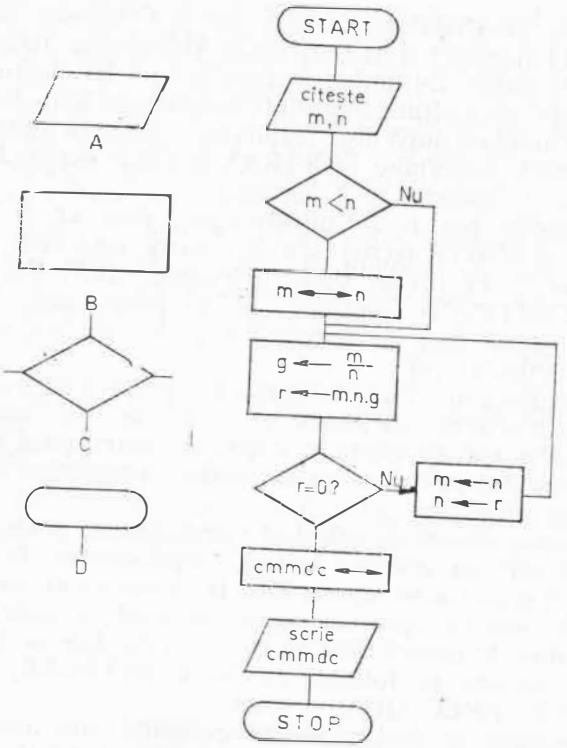


Fig. 47. Reprezentarea grafică a algoritmului de aflare a celui mai mare divizor comun. Figurile geometrice cu care se realizează reprezentarea grafică au următoarea semnificație: *A*-intrare, ieșire, *B*-prelucrare, *C*-decizie, *D*-începutul și sfîrșitul algoritmului.

care lucrează mașina, ușurează foarte mult munca programatorului. Dar ele nu reprezintă decît niște programe intermediare pe care calculatorul trebuie să le traducă, cu ajutorul unui compilator, în program obiect, scris în cod binar.

În limbajele simbolice pentru a reprezenta operația de adunare se folosește prescurtarea AD. Limbajele simbolice sînt legate însă de calculatorul utilizat: Limbajul ASIRIS pentru Felix C-256 și limbajul ASSEMBLER pentru calculatorul IBM 360, spre exemplu.

Cu ajutorul limbajelor algoritmice, care nu depind de calculatorul utilizat, s-a ajuns la posibilitatea ca același program să fie rulat pe calculatoare diferite. Există mai multe limbaje algoritmice. Cele mai răspîndite sînt FORTRAN (de la

FORmula TRANslator), COBOL (de la COmmon Business Oriented Language) și ALGOL (de la ALGOritmic Language).

Instrucțiunile din limbajele algoritmice sînt alcătuite din cuvinte a căror mulțime reprezintă vocabularul limbajului respectiv, și aranjate după niște reguli care reprezintă sintaxa lui.

Cuvintele limbajului FORTRAN pot fi împărțite în două categorii: 1. comenzi și 2. declarații.

Comenzile pot fi de intrare-ieșire, cum ar fi READ (citește) și WRITE (scrie), sau de control, cum ar fi GO TO (mergi la), IF (dacă), CALL (cheamă), RETURN (introduce), CONTINUE (continuă) și DO (efectuează). Comenzile reprezintă deci niște instrucțiuni pe care trebuie să le execute calculatorul.

Spre deosebire însă de comenzi, declarațiile reprezintă niște instrucțiuni neexecutabile, care descriu caracteristicile sau modul de aranjare a datelor, instrucțiuni necesare compilatorului pentru a putea traduce programul sursă în program obiect.

Deoarece blocul de calcul al calculatorului poate efectua operații atît cu numere întregi, reprezentate în sistem binar, cît și cu fracții reprezentate în sistem binar, cu numere zecimale, sau cu operanzi logici, limbajul simbolic trebuie să specifice de fiecare dată cu ce tipuri de date se lucrează. Pentru aceasta se folosesc cuvintele INTEGER, REAL, DOUBLE, PRECISION și altele.

Comenzile și declarațiile programului sînt înscrise pe un formular standard de programe, care are 80 de coloane. Fiecare linie reprezintă imaginea unei cartele perforate care are și ea 80 de coloane.

Toate instrucțiunile cuprinse în program sînt introduse, odată cu datele problemei, în memoria calculatorului. De aceea atunci cînd va indica calculatorului ce operație și cu ce date trebuie să efectueze, programul nu va indica de fapt decît adresele datelor respective din memoria calculatorului. Astfel, o instrucțiune va specifica operația de executat, adresa operanzilor respectivi și adresa la care trebuie înregistrat rezultatul. Iar pentru ca activitatea să se poată desfășura automat, fiecare instrucțiune va indica și adresa instrucțiunii următoare. Aceste patru adrese pot fi reduse la două, dacă adresa celui de-al doilea operant devine și adresa de înregistrare a rezultatului și există un numărător de instrucțiuni, care face inutilă indicarea adresei instrucțiunii următoare.

Pentru a îndeplini o instrucțiune, calculatorul transferă deci anumite date din memorie în blocul de calcul logico-matematic și transferă rezultatul înapoi în memorie. Pentru ca acest transfer să se desfășoare în succesiunea corespunzătoare programului de rezolvare a problemei, blocul de comandă, care recunoaște instrucțiunile pe care le primește din memorie, va face legătura între diferitele unități ale memoriei și diferitele unități de prelucrare aritmetică, ca și un dispecer de cale ferată. Pentru a putea realiza acest lucru, blocul de comandă deschide sau închide anumite căi care, tocmai pentru că pot fi închise sau deschise, se numesc porți. Calculatorul electronic este format deci, după cum arată J. S. Murphy (91), dintr-un bloc de intrare, prin care se introduc datele și programul de prelucrare a lor, dintr-o memorie internă și una externă, care cuprind atît datele problemei, cît și instrucțiunile de prelucrare a lor și apoi rezultatele obținute, dintr-un bloc de calcul aritmetic, dintr-un bloc de comandă, care face legătura între diferitele unități ale memoriei și, în sfîrșit, dintr-un bloc de ieșire (fig. 48).

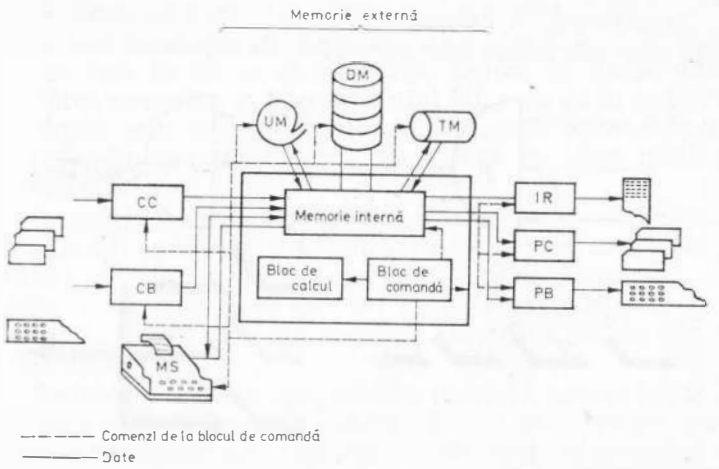


Fig. 48. Schema bloc a unui calculator electronic (după M. Lovin). *CC*-cititor de cartele, *CB*-cititor de bandă perforată, *MS*-mașină de scris, *UM*-unitate de bandă magnetică, *DM*-disc magnetic, *TM*-tambur magnetic, *IR*-imprimantă rapidă, *PC*-perforator de cartele, *PB*-perforator de bandă. Cu linie continuă este reprezentată circulația datelor, iar cu linie întreruptă, circulația comenzilor.

Toate aceste blocuri sînt formate din diferite elemente bistabile: tuburi electronice, tranzistori, ferite, legate între ele prin diferite porți.

Porțile care servesc la transferul de informații dintr-o parte în alta a calculatorului electronic pot fi de două feluri: 1) de tip ȘI care emit semnale de ieșire numai dacă primesc semnale la toate intrările și 2) de tip SAU, care emit semnale de ieșire și atunci cînd primesc semnale pe o singură intrare. Poarta ȘI poate fi comparată cu niște relee legate în serie. Iar poarta SAU poate fi comparată cu niște relee legate în paralel (fig. 49). Porțile sînt construite din tranzistori. Poarta ȘI este construită din tranzistori cu anozii legați între ei și conectați printr-o rezistență comună la +100 V. În acest circuit ȘI numai dacă toate intrările sînt la nivel înalt, ieșirea va fi și ea la nivel înalt. Dacă una dintre intrări va fi la nivel jos, ieșirea va fi și ea la nivel jos. Poarta SAU este formată și ea tot din tranzistori, dar cu catozii legați între ei. În poarta SAU apare un potențial înalt la ieșire și atunci cînd numai la una din intrări apare un potențial înalt.

Transportul în calculator se poate face în două feluri: 1) în serie sub forma unor succesiuni de impulsuri de-a lungul

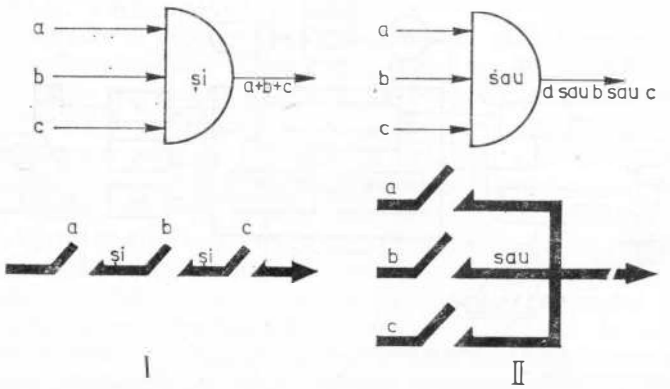


Fig. 49. Pentru transferul de date sau comenzi, dintr-o parte in alta a calculatorului, se folosesc niște porți, adică niște circuite care emit semnale de ieșire numai atunci cînd sînt îndeplinite anumite condiții de intrare. Există porți ȘI, fig. I, care nu emit semnale de ieșire decît atunci cînd primesc toate semnalele de intrare, și porți SAU, fig. II, care emit semnale de ieșire și atunci cînd primesc un singur semnal de intrare (după J. Murphy)

aceluiași canal și 2) în paralel, sub forma unor impulsuri care apar în același timp pe mai multe canale.

În timpul funcționării, calculatorul extrage de obicei dintr-o locație a memoriei sale, numită registru, o informație minimă de 32 de biți adică de patru baiți, sau octeți, care reprezintă un cuvînt format din 10—12 cifre. Blocul de calcul la care ajung aceste cuvinte, extrase din memorie, nu poate efectua cu ele decît operații foarte simple: de adunare, de scădere, de înmulțire, de împărțire și cîteva operații logice elementare, pe care le execută însă extrem de rapid. De aceea pentru a putea rezolva o problemă cu ajutorul calculatorului electronic, algoritmul ei trebuie redus la o succesiune de operații elementare, ceea ce subliniază, încă o dată, că dincolo de aparențe, inteligența este mai mult a programatorului decît a calculatorului.

Adunarea se efectuează foarte simplu: elementul binar din care este alcătuit registrul acumulator, adică registrul care conține unul dintre operanzi și are rolul de a-l acumula pe al doilea, va trece din starea 0 în starea 1, iar dacă va trebui să treacă din starea 1 în starea 0, atunci va transmite elementului bistabil următor un impuls care-l va trece din starea 0 în starea 1 și așa mai departe.

Și scăderea devine însă în calculator tot o adunare. Ea se face la fel ca și adunarea, numai că nu se adună numărul respectiv, ci complementul lui, ceea ce în cod binar se obține prin inversarea cifrelor. De aceea înainte de a fi introdus în sumator numărul de scăzut va trece printr-un complementator.

Înmulțirea se face prin adunarea repetată a numărului de înmulțit cu el însuși, de atîtea ori de cîte ori arată înmulțitorul. Singura problemă pe care o pune înmulțirea este aceea de a număra de cîte ori s-a efectuat adunarea și de a o opri atunci cînd s-a efectuat de atîtea ori de cîte ori arată înmulțitorul.

Împărțirea se face prin scădere repetată, ceea ce înseamnă de fapt tot o adunare repetată, dar cu împărțitorul complementat. Rezultatul împărțirii este egal cu numărul de scăderi, sau mai bine zis de adunări repetate a împărțitorului complementat cu deîmpărțitul, pînă cînd se obține un rest negativ.

Pentru efectuarea operațiilor algebrice se iau în considerare și semnele plus sau minus, reprezentate prin primul

bit al cuvîntului; 0 pentru plus și 1 pentru minus. La semne identice se adună, iar la semne diferite scade. Pentru a scădea numărul cel mai mic din cel mai mare, calculatorul ar trebui să compare cele două numere. Uneori nu mai face însă această operație, ci calculează complementul unuia din numere, efectuează adunarea și utilizează semnul celuilalt număr. Dacă alegerea a fost greșită, ceea ce se poate constata prin inexistența transportului, se recomplementează rezultatul și se inversează semnul.

Toate operațiile sînt deci reduse în calculator la o succesiune de adunări. De aceea marea lui calitate nu constă în operațiile pe care le efectuează, ci în viteza care poate atinge 2,5 milioane de operații pe secundă și în marea lui capacitate de memorare, de opt pînă la 10 milioane de cifre.

În timp ce creierul uman, care lucrează electrochimic, nu poate prelucra conștient mai mult de 16 biți pe secundă, calculatorul electronic poate prelucra 80 de milioane de biți pe secundă. Chiar dacă o parte din această fantastică capacitate de lucru este folosită cu un randament relativ redus, prin reducerea tuturor operațiilor la adunări repetate, calculatorul poate prelucra în timp util o mare cantitate de informații. Această prelucrare o poate face, desigur, doar atunci cînd omul îi oferă programul exact după care trebuie prelucrate aceste informații. Calculatorul nu are nici o inițiativă proprie. Inteligența calculatorului nu este de fapt decît inteligența omului care l-a construit și care îi oferă în permanență programele de funcționare. Dar deși nu este dotat cu nici un fel de inteligență și cînd spunem inteligență artificială folosim, desigur, o figură de stil, calculatorul îl poate ajuta totuși pe om în prelucrarea acelei imense cantități de informație care îl asaltează neîncetat.

Pentru a rezolva o problemă cu două variabile, sau necunoscute, x și y, omul trebuie să rezolve un sistem de două ecuații cu două necunoscute, ceea ce implică șase operații. Pentru rezolvarea unui sistem de trei ecuații cu trei necunoscute, trebuie să efectueze 24 de operații. Pentru rezolvarea unui sistem de cinci ecuații cu cinci necunoscute, trebuie să efectueze 124 de operații. Iar pentru a rezolva un sistem de 100 de ecuații cu 100 de necunoscute, numărul operațiilor care trebuie efectuate nu poate fi scris decît cu un număr format din 170 de cifre, în timp ce numărul secundelor dintr-un miliard de ani poate fi scris cu un număr format din 17 cifre. Aceasta înseamnă că omul nu

poate calcula niciodată, prin metodele clasice, sistemul de ecuații cu 100 de necunoscute, necesar pentru a calcula zborul unei nave spațiale, spre exemplu (98).

Existența unor probleme foarte complexe, care necesită prelucrarea unor mari cantități de informație, a impus utilizarea calculatorului în multe domenii de activitate. Calculatorul poate fi întîlnit astăzi nu numai în bănci, sau în servicii de contabilitate, ci și în transporturi, în cercetare, în documentare, în proiectare, în construcții, în spitale etc. Calculatorul este folosit în traducerea automată, dintr-o limbă în alta, în grafică, în literatură, în muzică etc. Calculatorul a devenit astfel un adevărat coleg de muncă al multor specialiști (98).

În medicină calculatorul îl poate ajuta pe medic nu numai în gestiunea datelor, ci și în prelucrarea lor. Iar marea sa capacitate de memorare este extrem de folositoare pentru constituirea unor bănci de date medicale.

Calculatorul poate fi folosit și în diagnosticul medical (120, 133). Greutatea folosirii calculatorului în procesul de diagnostic rezidă în faptul că același simptom și chiar același sindrom, adică același grup de simptome, pot apărea în mai multe boli și uneori în foarte multe boli. Simptomele sînt foarte greu de evaluat și de ierarhizat. Ele sînt de multe ori chiar foarte greu de descris. Iar descrierile care se fac sînt de multe ori mult prea vagi pentru a putea fi folosite în regulile exacte și fără echivoc pe care le solicită calculatorul electronic. Cu toate aceste greutăți calculatorul poate fi folosit în procesul de diagnostic. El poate sugera medicului, care i-a oferit un anumit program de funcționare, diagnosticul cel mai probabil și poate solicita chiar și investigațiile necesare confirmării lui (fig. 50). Apoi calculatorul poate fi folosit și în interpretarea acestor investigații. El poate citi electrocardiograme, electroencefalograme și filme radiologice, fără să mai vorbim de faptul că tomografia computerizată, care face o adevărată disecție anatomică în organismul viu, punînd în evidență formațiuni care nu pot fi vizualizate cu metodele clasice, își bazează rezultatele tocmai pe marea capacitate de prelucrare a calculatorului electronic.

În artă, calculatorul este folosit ca ajutor al artistului, sau chiar ca creator independent. Pentru a putea crea opere de artă, calculatorul acționează asupra unor semne.

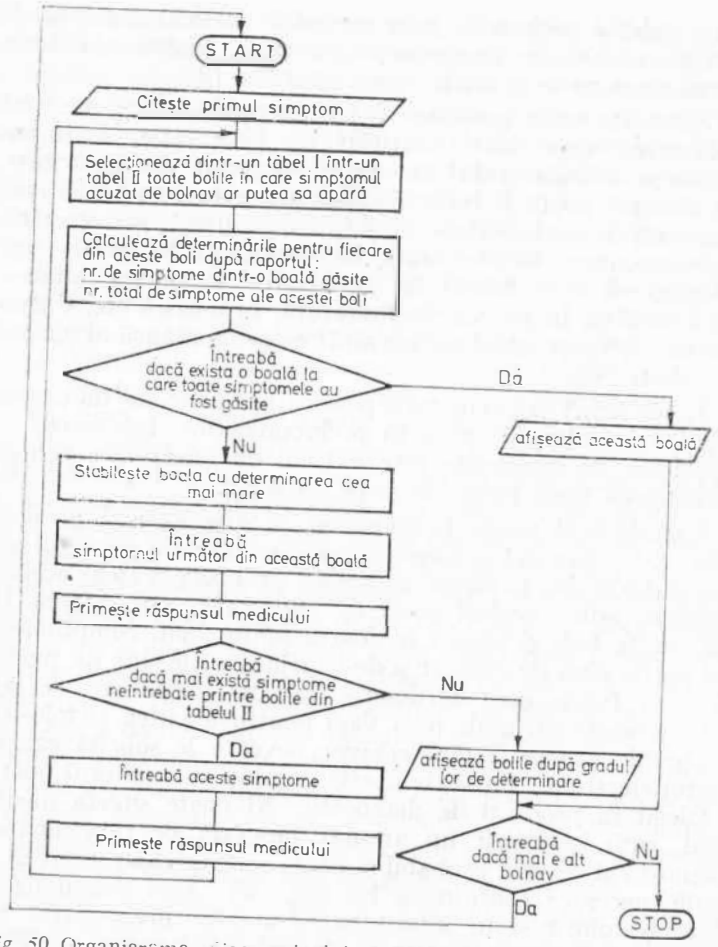

START
Citește primul simptom
Selecționează dintr-un tabel I într-un tabel II toate bolile în care simptomul acuzat de bolnav ar putea sa apară
Calculează determinările pentru fiecare din aceste boli după raportul: nr. de simptome dintr-o boală găsite / nr. total de simptome ale acestei boli
Întreabă dacă exista o boală la care toate simptomele au fost găsite
Da
Nu
afișează această boală
Stabilește boala cu determinarea cea mai mare
Întreabă simptomul următor din această boală
Primește răspunsul medicului
Întreabă dacă mai există simptome neîntrebate printre bolile din tabelul II
Nu
Da
Întreabă aceste simptome
afișează bolile după gradul lor de determinare
Primește răspunsul medicului
Întreabă dacă mai e alt bolnav
Nu
Da
STOP

Fig. 50 Organigrama diagnosticului clinic medical cu ajutorul calculatorului electronic (după un program elaborat de A. Restian și P. Iacob.

El poate acționa, spre exemplu, asupra duratei, înălțimii sau intensității sunetelor, sau asupra lungimii, grosimii, distanței sau unghiului de incidență a unor linii.

Prin folosirea metodei Monte Carlo, de elaborare a unor numere aleatoare, în programul de prelucrare a acestor semne, calculatorul poate da dovadă de multă fantezie, dezvoltînd un foarte mare număr de variante ale aceleiași

teme. Astfel, calculatorul acționează ca un amplificator al creierului, care, după cum remarcă A. Moles (89), nu poate epuiza toate combinațiile posibile, pentru a duce pînă la sfîrșit toate ideile imaginației sale. Aceasta înseamnă că nici un artist n-a reușit să exploateze integral toate posibilitățile pe care i le-a oferit talentul său, și că opera unui artist poate fi completată cu ajutorul calculatorului electronic. Max Bense a produs cu ajutorul calculatorului un text care poate fi considerat ca o pagină inedită de Kafka.

Tocmai pentru a dezvolta ideile imaginației lor, unii compozitori, ca Ianis Xenakis, sau graficieni, ca Zdenek Sykora, își realizează operele lor artistice cu ajutorul calculatorului electronic. Artistului îi revine sarcina de a întocmi programul de prelucrare a semnelor și de a alege din mulțimea variantelor pe care i le oferă mașina varianta pe care el o consideră cea mai valabilă.

Desigur că oferindu-i o anumită libertate, prin înzestrarea cu un generator de numere aleatoare, poate fi lăsată pe seama mașinii și varianta cea mai bună. În legătură cu generatorul de numere aleatoare, ar fi interesant de remarcat că M. Malița (68) vorbește, în cadrul unei paradigme fantastice, că și la om ar exista o glandă a hazardului, care ar avea rolul de a stabili legături aleatoare necesare imaginației și fanteziei. Dar chiar dacă o astfel de glandă a hazardului nu există ca entitate anatomică creierul omului are posibilitatea de a stabili legături aleatoare, tot așa cum metoda Monte Carlo oferă sistemelor tehnice numere pur întîmplătoare, pentru a compensa rigiditatea programului lor de funcționare, sugerînd astfel o anumită fantezie.

Oferindu-i-se cîteva reguli de compoziție, de contrapunct și de armonie, calculatorul electronic al Universității din Illinois a compus suita ILLIAC, pentru cvartet de coarde.

Tot așa, dacă i se oferă un repertoriu de cuvinte, de reguli de formare a propozițiilor și un generator de numere aleatoare, adică o glandă a hazardului, a imaginației și fanteziei, calculatorul electronic poate scrie poezii. Chiar dacă nu a reușit să se încadreze în acel echilibru extrem de fragil dintre informație și redundanță, conținînd prea puțină redundanță și prea multă informație, Autopoemul nr. 312,

compus de un calculator IBM 7090, reprezintă totuși, după cum arată V.E. Mașec (72), o producție literară destul de remarcabilă:

„Visele fericite plouă
Inima sărută firul de iarbă
Verdele se răsfiră pe zveltul iubit
Zarea-i departe și melancolică
Vulpile dorm liniștit
Visul mîngîie luminile
Un somn plin de vise cîștigă o lume
Farmecul îngheață unde această scînteiere se joacă
Magii dansează firavul păstor".

Dacă i se oferă regulile corespunzătoare, adică un program după care să poată prelucra datele necesare, calculatorul electronic poate juca șah. Datorită marii sale viteze de lucru, el poate calcula cu ușurință numeroasele variante posibile și să aleagă varianta cea mai bună.

Dată fiind utilizarea pe scară din ce în ce mai mare a calculatoarelor, se prevede ca în viitorul apropiat industria lor să depășească industria automobilului. Dar calculatoarele nu numai că devin mai numeroase, ci se și perfecționează neîncetat. Au apărut microprocesoarele, capabile să conducă o serie întreagă de procese tehnologice. Apoi se fac progrese în ușurarea comunicării cu calculatorul, pentru ca aceasta să fie cît mai simplă și mai directă, prin intermediul cuvintelor scrise, sau chiar vorbite. S-au pus la punct sisteme capabile să recunoască diferite combinații de litere scrise sau rostite (15).

Utilizarea unui limbaj natural și apariția unor terminalii, adică a unor dispozitive de intrare-ieșire, portative, cu care să se poată comunica prin radio cu centrul de calcul, va permite un dialog mai ușor cu calculatorul, care va intra astfel și mai mult în viața noastră de fiecare zi, scutindu-ne de multe munci plictisitoare și obositoare.

CAPITOLUL XIX

IMPERFECȚIUNILE CIBERNETICE ALE ORGANISMULUI UMAN

Dacă principala calitate a sistemelor cibernetice este aceea de a-și păstra propria lor identitate, în pofida numeroaselor variații din mediul care le înconjură, atunci organismul uman este cel mai perfecționat sistem cibernetic, deoarece reușește să-și păstreze și chiar să-și dezvolte propria lui identitate, pe un front mult mai larg și în medii mult mai variate decît toate celelalte animale. Spre deosebire de toate celelalte animale, omul poate trăi la orice latitudine, de la Ecuator și pînă la poli, atît în clima ecuatorială, cît și în clima tropicală, subtropicală, temperată și rece. Adică el poate rezista atît în deșerturile pe care le străbate cu cămile, cît și în zonele polare pe care le străbate cu renul. Atît renul, cît și cămila sînt mult prea bine adaptate unui anumit mediu de viață pentru a se mai putea adapta și altor medii. Tocmai pentru că nu este perfect adaptat nici climei de deșert și nici climei polare, omul este capabil să trăiască în amîndouă.

Dar deși este cel mai perfecționat sistem cibernetic, omul are totuși anumite imperfecțiuni, deoarece suferă și el într-o oarecare măsură influențele variațiilor din mediul în care trăiește. Dar la variații la care celelalte animale mor, el cel mult se îmbolnăvește. Îmbolnăvirea se datorește, de cele mai multe ori, imperfecțiunii mecanismelor de reglare, care nu mai pot face față unor factori, ce devin astfel factori patogeni (144).

Toate mecanismele de reglare intra- și extracelulară au anumite limite și chiar anumite imperfecțiuni, în absența cărora sistemul nu s-ar mai degrada niciodată.

Atît în reglarea intracelulară, cît și în reglarea extracelulară un rol deosebit îl are informația structurală, spre exemplu, adică informația înscrisă în structura substan-

țelor, pe care acestea o poartă cu ele. Informația structurală face ca programul de funcționare al sistemului să fie înscris în propria lui structură. Informația structurală face posibilă recunoașterea diferitelor molecule între ele, contribuind astfel la autoreglarea reacțiilor biochimice. Desfășurarea reacțiilor biochimice după programul înscris în informația structurală reprezintă nu numai un progres, ci și o necesitate, căci altfel nu ar putea fi reglate și cu atît mai puțin autoreglate numeroasele reacții biochimice care au loc în fiecare organit și în fiecare celulă. Deși a reprezentat un progres și o necesitate, înscrierea programului de funcționare a sistemului în propria lui structură a reprezentat și un risc, căci odată cu alterarea structurii se poate altera și programul ei de funcționare. Aspectul informațional este preferat de sistemele cibernetice tocmai pentru că el le oferă posibilitatea de a evita contactele substanțial-energetice, care ar putea duce la creșterea entropiei. Or, în cazul informației structurale acest contact direct nu este evitat. Pentru a putea face schimbul necesar de informație structurală, subsistemele trebuie să vină în contact direct între ele. Este adevărat că nici în cazul informației structurale, sistemele nu iau în considerare toată substanța, toată molecula, ci doar anumite porțiuni, anumite suprafețe complementare, așa cum am văzut la enzime și la antigene. Dar și această limitare la anumite porțiuni, care joacă rolul de semnal poate duce la apariția unor erori. De aceea mecanismele de apărare imunitară care apelează la informația structurală au foarte multe imperfecțiuni (147). Exceptînd faptul că mecanismele de apărare imunitară trebuie să vină în contact direct cu agresorul, contact pe care un sistem cibernetic specializat în prelucrarea informațiilor nu ar trebui să și-l permită, ele nu recunosc agresorul decît după anumite grupări determinante. Acest lucru reprezintă o mare imperfecțiune, deoarece este suficientă o modificare a grupării determinante pentru ca mecanismele de apărare imunitară să nu mai recunoască agresorul respectiv, sau dimpotrivă să ia drept străine niște molecule proprii care au suferit o modificare a grupării determinante.

Pe de altă parte, mecanismele care lucrează cu informație structurală au o inerție foarte mare, impusă de încetineala cu care se desfășoară reacțiile biochimice. De aceea anticorpii se produc la cîteva săptămîni de la contactul cu antigenul.

Multe din mecanismele care se autoreglează prin intermediul informației structurale nu mai dispun de mecanisme de *feed-back* supraetajate, care să controleze rezultatele obținute. Funcționarea acestor mecanisme este reglată prin programare, dar nu și prin urmărirea elementului reglat, ceea ce într-un mediu foarte variabil reprezintă o mare necesitate. Programul genetic înscris în structura acizilor nucleici nu suferă influențe reglatoare din partea factorilor de mediu. El poate produce un anumit număr de proteine și de enzime. Mecanismele de reglare genetică nu pot influența însă decît momentul și cantitatea în care proteinele respective vor fi produse (90). Ele nu pot determina producerea altor proteine, care ar fi mai adecvate în condițiile respective. Acest lucru nu se face decît accidental, prin intermediul unor mutații întîmplătoare, care apoi sînt distruse sau, dimpotrivă, selecționate, în funcție de avantajele pe care le oferă sistemului respectiv.

Nici activitatea mecanismelor de apărare imunitară nu este reglată de un mecanism de *feed-back* supraetajat care să lucreze în funcție de rezultatele obținute. De aceea apar o serie întreagă de boli autoimune, în care organismul luptă împotriva propriilor sale structuri, și sînt respinse cu o tenacitate, demnă de niște scopuri mai bune, grefele extrem de utile.

Pentru a evita numeroasele imperfecțiuni ale mecanismelor care lucrează cu informație structurală, au apărut mecanismele de reglare endocrină și mai ales mecanismele de reglare neuropsihică, în care informația nu este legată atît de strîns de o anumită structură, putînd trece chiar cu o mare ușurință de pe o structură pe alta. Aceste mecanisme care lucrează cu informație mai purificată pot evita contactul direct cu factorii entropici împotriva cărora trebuie să acționeze. De aceea mecanismele neuropsihice s-au perfecționat foarte mult. Ele au ajuns să sesizeze și să prelucreze la un nivel superior informațiile primite. Pentru a se putea sustrage influențelor substanțial-energetice, mecanismele de reglare neuropsihică au devenit atît de dependente și de sensibile la influențele informaționale, încît informația devine de multe ori dintr-un mijloc de protecție un factor patogen (145). Multe din bolile psihice și psihosomatice sînt produse nu de influențele substanțial-energetice, ci de influențele informaționale pe care le suferă organismul uman (159).

Deși sistemul nervos dispune de o serie întreagă de mijloace de protecție antiinformațională, cum ar fi inhibiția, atenția, filtrarea, superizarea, clasificarea, oboseala și somnul, el poate fi totuși, de multe ori, inundat cu informații. Mijloacele de protecție antiinformațională caută să prevină o astfel de inundație. Inhibiția prin creșterea pragurilor, atenția prin selecționarea surselor de informație, filtrarea prin transmiterea doar a anumitor semnale, superizarea prin condensarea semnalelor, oboseala prin întreruperea activităților care au determinat solicitarea informațională, și somnul, prin reducerea la minimum a legăturilor informaționale cu mediul, reușesc să prevină de obicei o supraîncărcare a organismului cu informații. Există însă un echilibru foarte fragil între aceste mecanisme, care caută să prevină o eventuală supraîncărcare a organismului cu informații, și tendința lui de a desfășura un joc cu informație completă cu mediul în care se află. De aceea pe de o parte organismul se apără de o supraîncărcare cu informații, iar pe de altă parte caută să recepționeze cît mai multe informații. Această contradicție duce de multe ori la o inundație a organismului cu informații. În această situație, informațiile în loc să ducă la decizii din ce în ce mai adecvate, duc, prin sufocarea centrilor de comandă, la decizii din ce în ce mai puțin adecvate. De aceea odată cu creșterea cantității de informație crește și numărul de erori (121). Iar aceste erori pot privi însă nu numai comportamentul sistemului, ci și reglarea organelor sale interne, putînd duce astfel la o serie întreagă de boli.

Pe de altă parte, deși mecanismele de reglare ale organismului sînt integrate într-un sistem unitar și se influențează și se coordonează reciproc, coordonarea dintre ele este departe de a fi perfectă. S-ar putea arăta, spre exemplu, că decizia care rezultă în urma prelucrării informațiilor primite este trimisă atît organelor de execuție, adică anumiți mușchi sau glande, cît și organelor de reglare metabolică pentru a elibera energia necesară îndeplinirii deciziilor respective și aparatului cardiovascular pentru a transporta substanțele energetice eliberate spre mușchii sau glandele respective. Între mecanismele care reglează aceste trei subsisteme nu există însă o reglare eficientă. Aceasta face ca organele de reglare a metabolismului să elibereze substanțele energetice, iar aparatul cardiovascular să-și mobilizeze și el resursele necesare pentru a le transporta chiar

și atunci cînd organele de execuție nu ar mai avea nevoie de ele. Între mecanismele de reglare ale celor trei subsisteme nu există deci coordonare perfectă.

Atunci cînd omul îndeplinea deciziile pe care le lua cu propriile sale organe, atunci cînd nu se punea decît cel mult problema lipsei de substanțe energetice și mult mai rar problema excesului lor, această imperfecțiune era mai puțin evidentă. În condițiile mecanizării și automatizării, cînd omul nu mai îndeplinește cu mușchii săi deciziile pe care le ia, imperfecta coordonare dintre cele trei mecanisme de reglare devine foarte evidentă, putînd contribui la apariția multor boli așa cum ar fi ateroscleroza și hipertensiunea arterială (136, 146).

Desigur, că pentru a putea alege deciziile cele mai adecvate, organismul trebuie să evalueze cît mai bine informațiile primite, sau mai bine zis descoperite de el în semnalele pe care le primește. Iar informațiile sînt evaluate, după cum am văzut, din mai multe puncte de vedere: al veridicității, al utilității, al plăcerii, al frumuseții etc. Dar nici între mecanismele care realizează aceste evaluări nu există o coordonare perfectă. De aceea de multe ori predomină una din valori, cum ar fi valorile hedonice împotriva valorilor de utilitate. Acest lucru se poate constata în alimentația omului, în care de multe ori predomină valorile hedonice împotriva valorilor de utilitate, omul mîncind uneori mai mult din plăcere decît din necesitate.

Nici între adaptarea autoplastică și adaptarea aloplastică nu există o coordonare perfectă. Neputîndu-se adapta oricărei situații, omul a căutat să adapteze mediul la necesitățile sale, trecînd astfel de la adaptarea autoplastică la adaptarea aloplastică. Perfecționarea procesului de prelucrare a informațiilor a crescut capacitatea de adaptare aloplastică a omului. Cu cît posibilitățile omului deveneau mai mari, cu atît mediul de viață se deosebea mai mult de mediul natural, devenind mai civilizat. Este evident că civilizația a avut efecte favorabile asupra sănătății omului. Ea l-a scutit de o serie întreagă de factori de agresiune și de eforturile fizice istovitoare. Totuși civilizația îi pune omului și anumite probleme. Ar fi suficient să menționăm influențele nefavorabile pe care le au poluarea, sedentarismul, zgomotul sau aglomerarea urbană, pentru a ajunge la concluzia că omul se află de multe ori în situația de a trebui să se adapteze la propria lui adaptare. Iar atunci cînd nu reușește suficient

de bine acest lucru pot apărea o serie întreagă de boli „de civilizație" (107). Printre ele este inclusă, spre exemplu, ateroscleroza în care intervin cei trei S: supraalimentația, suprasolicitarea și sedentarismul, favorizate de civilizație. Chiar dacă ateroscleroza, cu temutele ei consecințe, accidentele vasculare cerebrale și infarctul miocardic, se întîlneau și acum cîteva sute de ani, fiind prezente chiar și la mumiile egiptene, ele sînt totuși astăzi mult mai frecvente și apar la vîrste din ce în ce mai tinere, constituind o adevărată epidemie modernă.

Deși este cel mai perfecționat sistem cibernetic, organismul uman are totuși anumite imperfecțiuni cibernetice, care constituie un fel de călcîi al lui Achile. Prin intermediul lor acțiunile entropice se pot infiltra mai ușor în organismul uman. De aceea pentru a contribui la mai buna adaptare a ființei umane la viața modernă, homo ciberneticus trebuie să cunoască aceste imperfecțiuni și să corecteze sau cel puțin să evite suprasolicitarea lor.

CAPITOLUL XX

IGIENA INFORMAȚIONALĂ

Deși sînt extrem de eficace, în lupta cu cel de-al doilea principiu al termodinamicii, mecanismele de reglare ale organismului au anumite limite și anumite imperfecțiuni. De aceea organismul uman trebuie să respecte anumite norme de igienă. Aceste norme se referă la alimentație, la îmbrăcăminte, la mediu fizic, biologic și social, precum și la diferitele activități, cum ar fi efortul fizic și intelectual. Ele privesc deci gama extrem de largă a relațiilor dintre organism și mediul și mai ales a schimburilor pe care organismul, în calitatea lui de sistem deschis, trebuie să le facă cu mediul în care trăiește.

Organismul nu este însă deschis numai substanțelor și energiei, ci și informației. În calitatea lui de sistem cibernetic, el are nevoie nu numai de substanțe și de energie, ci și de informație. Fără informație el nu ar putea desfășura procesele de reglare prin care să se opună creșterii entropiei. Pentru a realiza acest lucru el are nevoie însă de anumite informații. Iar pentru aceasta, el trebuie să-și regleze intrările prin care se realizează aportul informațional, sau mai bine zis aportul semnalelor purtătoare de informație pe care să le supună apoi unor prelucrări capabile să descopere informațiile de care are nevoie.

Organismul uman nu suportă însă nici prea multe, dar nici prea puține informații. De aceea pe lîngă igiena alimentației, igiena muncii sau igiena comunală, este necesară și o igienă informațională (150).

Lipsa de informații, în condiții de izolare spre exemplu, poate determina tulburări foarte grave, care pot merge pînă la delir și halucinații (26). Dată fiind însă capacitatea limitată a căilor de conducere a informațiilor (84), organismul uman nu suportă prea bine nici excesul informațional,

care poate duce și el la o serie întreagă de tulburări, cum ar fi sindromul de agresiune informațională, format din oboseală, iritabilitate, anxietate și insomnie (118). Sindromul de agresiune informațională este rezultatul suprasolicitării și al depășirii mecanismelor de protecție informațională. Oboseala este determinată de depășirea limitelor de conducere și de prelucrare a informațiilor. Anxietatea, această teamă fără obiect, este determinată de riscul pe care îl presupune readaptarea mecanismelor de reglare la modificările care au generat informațiile respective. Iar iritabilitatea și insomnia sînt determinate de acțiunea paradoxală a organismului de a-și reduce mijloacele de apărare antiinformațională după primirea unei cantități mari de informație. Fenomenele se petrec ca și cînd organismul ar avea nevoie de o informație suplimentară pentru a se putea adapta la situația care a generat informația respectivă. Atunci scad pragurile. În organism intră o cantitate suplimentară de informații care va acționa și asupra sistemului activator ascendent pentru a crește starea de vigilență pînă la rezolvarea situației care a generat informațiile respective (119).

Influențele solicitărilor informaționale depind deci atît de cantitatea și de calitatea informației pe care o generează factorii de mediu, cît și de mijloacele de protecție ale organismului. De aceea igiena informațională va trebui să se ocupe atît de mediu, cît și de organismul uman. Pe de o parte, ea trebuie să optimizeze aspectul informațional al mediului, iar pe de altă parte, să întărească mijloacele de protecție ale organismului uman (fig. 51).

Acțiunea asupra mediului poate să necesite atît creșterea, cît și scăderea informațiilor pe care el le generează.

Deși subsolicitarea informațională este mult mai rară, ea poate exista totuși în anumite situații, cum ar fi în activitățile foarte monotone, în care pentru a putea menține vigilența organismului este necesară introducerea unor solicitări informaționale suplimentare.

Deoarece mediul de viață și de muncă este de obicei o foarte generoasă sursă de informație, problema reducerii aportului informațional este mult mai frecventă. Reducerea aportului informațional se poate face în primul rînd prin instituirea unei anumite ordini în modul de viață și în mediul înconjurător. O viață dezordonată într-un mediu dezordonat poate genera o mare cantitate de informație care să solicite inutil mecanismele de reglare ale organismului. Un mediu

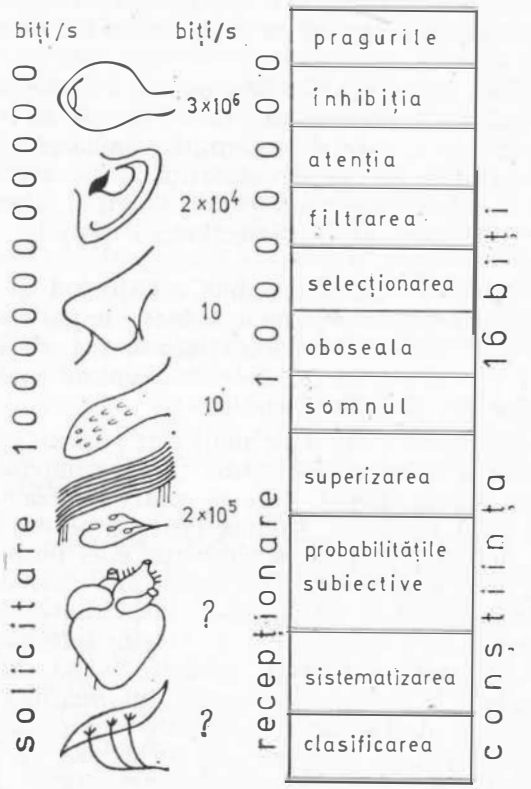


Fig. 51. Reprezentare schematică a mijloacelor de protecție antiinformațională a organismului uman, care fac ca din cei 10^{11} biți care ajung în fiecare secundă la nivelul receptorilor periferici, numai 10^7 să ajungă în sistemul nervos și numai 16 biți pe secundă pînă la nivelul conștiinței. Orice tulburare a acestor mecanisme poate duce la o supraîncărcare informațională a organismului și la apariția unor manifestări clinice.

perturbant care exclude posibilitatea de previziune poate duce, după cum arată G. Klaus (57), la o suprasolicitare informațională.

Apoi mașina informațională, care este omul, nu poate prelucra în nici un caz, după cum susține W. R. Ashby (6), marea cantitate de informație pe care i-o oferă mediul, fără o prealabilă selecționare. De aceea unii autori susțin chiar că adevărata performanță a unui prelucrător de infor-

mație nu trebuie căutată în cantitatea de informație pe care o prelucrează, cît în capacitatea lui de selecționare (57, 59).

Șt. Milcu (82) arată că sub presiunea formidabilă de informații didactice și profesionale, tinerii trebuie să-și însușească tehnica învățării, care să le permită asimilarea cunoștințelor necesare cu maximum de eficiență și de randament. Ei trebuie să deprindă tehnica găsirii, trierii și asimilării informațiilor cu care să-și perfecționeze propria lor personalitate.

Instituind o anumită ordine, clasificînd și catalogînd obiectele și fenomenele, omul reduce cîmpul de probabilitate de care depinde mărimea informației, de la numărul mare al evenimentelor primare la numărul mult mai mic al claselor din care fac parte.

Desigur însă că oricît de mult s-ar preveni apariția oboselii, pînă la urmă ea tot apare, ceea ce impune reducerea aportului informațional, care se poate realiza cu ajutorul odihnei și al somnului. Odihna poate fi activă sau pasivă. Odihna activă presupune schimbarea unei forme de activitate cu alta, și mai ales schimbarea unei activități intelectuale cu o activitate fizică. Odată cu schimbarea activității se realizează și o comutare a proceselor informaționale. Se știe că încetarea activității intelectuale nu duce în mod obligatoriu și la încetarea prelucrării informațiilor respective. Omul care a desfășurat o activitate intelectuală continuă să se gîndească, să mediteze, să prelucreze, ca în virtutea unei inerții și după întreruperea activității, informațiile respective. De aceea repausul după o activitate intelectuală nu înseamnă și odihnă efectivă. Dar schimbînd o activitate cu o altă activitate, omul devine obligat să prelucreze alte informații. Astfel se realizează dacă nu o reducere a aportului informațional, cel puțin o solicitare a altor zone din creier care au fost anterior mai puțin solicitate.

Odihna pasivă se realizează prin repaus și culminează în timpul somnului, care reduce la minimum legăturile informaționale ale organismului cu mediul, contribuind la rearanjarea informațiilor acumulate în timpul stării de veghe. Intensitatea activității din timpul somnului este demonstrată de faptul că metabolismul nu scade cu mai mult de 10%. Trebuie remarcat că visul are și el o importanță deosebită pentru echilibrul neuropsihic al omului.

S-au elaborat însă și o serie întreagă de metode de relaxare și de autorelaxare, cum ar fi relaxarea autogenă a lui Schultz, relaxarea autodirecționată a lui Fink, și sofroterapia (191). Apelînd la autosugestie prin intermediul unui vocabular specific (picioarele sînt grele, mîinile sînt grele etc.), metoda de relaxare autogenă reușește să reducă încordarea neuromusculară, reducînd astfel și aportul de informații pe care sistemul nervos le primește de la sistemul muscular cînd acesta este contractat. Căutînd să reducă sfera conștiinței la schema corporală, sofroterapia reușește să reducă nu numai aportul de informații care vin dinăuntru, ci și aportul de informații care vin din afară. Restrîngînd sfera conștiinței, sofroterapia dezafectează formațiunea reticulată care, prin intermediul neuronilor gama, ține sistemul muscular într-o stare de contractare și de crispare exagerată. Prin aceasta ea reușește să scadă consumul de oxigen cu 16%, pulsul cu 20 de bătăi pe minut și tensiunea arterială cu 20% (191).

Odihna, sub diferitele ei forme, caută să evite o suprasolicitare a mecanismelor de reglare și mai ales a mecanismului de *feed-before* Or, acest lucru este foarte important dacă avem în vedere că deși a dobîndit o mare libertate de acțiune, mecanismul de *feed-before* nu s-a putut sustrage complet de sub influența solicitărilor informaționale. El a devenit atît de sensibil, sau mai bine zis atît de vulnerabil, la solicitările informaționale, încît este suficientă o suprasolicitare informațională pentru ca să nu mai poată funcționa normal, chiar și în absența unor leziuni structurale, așa cum se întîmplă în hipertensiunea arterială, spre exemplu (142).

Problema solicitărilor și a igienei informaționale se complică însă foarte mult, deoarece organismul nu primește din afară, în mod direct, informațiile de care are nevoie și care uneori l-ar putea îmbolnăvi. El nu primește din afară decît niște semnale în care trebuie să descopere informațiile de care are nevoie. Informațiile pe care le descoperă sistemul nervos nu sînt însă identice cu cele emise de sursă. De multe ori se întîmplă ca informațiile pe care le descoperă sistemul nervos să fie mai mici sau mai mari decît cele emise de sursă. Aceasta depinde de probabilitățile sale subiective. Dacă semnalele nu sînt deloc prevăzute, atunci ele aduc o informație maximă. Dacă ele pot fi dinainte prevăzute, atunci ele nu mai aduc nici o informație devenind

redundante. Deși nu aduc nici o informație semnalele redundante sînt și ele absolut necesare, deoarece mesajele care nu conțin redundanță nu pot fi interpretate de către sistemul nervos.

Dar deși redundanța este absolut necesară, excesul de semnale redundante nu este nici el prea bine tolerat de către organismul uman. De aceea suprasolicitarea cu semnalele redundante duce și ea la apariția oboselii, care va fi însă întovărășită nu de anxietate, așa cum se întîmplă în cazul sindromului de agresiune informațională, ci de plictiseală și depresie psihică, simptome pe care noi le-am grupat în cadrul sindromului redundanței în exces (166). Adică suprasolicitarea, sau mai bine zis descoperirea unei cantități prea mari de informație, duce la oboseală cu anxietate, iar suprasolicitarea cu semnale redundante duce la oboseală cu depresie psihică.

Deoarece organismul nu suferă o solicitare pasivă, sindromul redundanței nu este determinat numai de monotonia semnalelor, ci și de faptul că ele nu mai înlătură nici o incertidudine. Sindromul de agresiune informațională apare deci atunci cînd entropia subiectivă este foarte diferită de entropia obiectivă, iar sindromul redundanței în exces apare atunci cînd entropia subiectivă se apropie pînă la confundare cu entropia obiectivă.

Realitatea înconjurătoare este însă atît de complexă și de variabilă, încît cele două entropii nu se pot niciodată confunda între ele. Iar atunci cînd organismul nu mai primește nici o noutate, acest lucru se datorește mai ales imposibilității sale de a descoperi noutatea respectivă. Pentru a-și putea păstra un echilibru neuropsihic, organismul reușește de obicei să descopere o anumită informație chiar și în semnalele aparent redundante și, dimpotrivă, să reducă informația pe care o aduc semnalele foarte noi și necunoscute. În felul acesta el reușește să-și asigure o homeostazie informațională, o solicitarea optimă, între informația anxiogenă și redundanța prea sedativă, prin ceea ce E. Pamfil (106) a denumit eundanță. Eundanța reprezintă raportul optim dintre informație și redundanță. Ea este necesară pentru a realiza o activare optimă a sistemului nervos. De multe ori însă mecanismele de reglare a aportului informațional, sau mai bine zis mecanismele de descoperire a

informațiilor, nu reușesc să asigure eundanța necesară, ducînd fie la supraîncărcarea cu informație, fie la supraîncărcarea cu redundanță. În ambele cazuri, pe lîngă oboseala cu anxietate sau oboseala cu depresie psihică, mai pot apărea și o serie întreagă de simptome somatice, cum ar fi creșterea tensiunii arteriale, dureri precordiale, creșterea lipemiei și a colesterolemiei, și respectiv dispnee, tulburări de circulație periferică, vertij și cefalee.

Tulburările pe care le poate produce solicitarea informațională nu depind deci numai de acțiunile exterioare, ci și de mijloacele de protecție ale organismului, care merg de la proprietățile fizico-chimice, cum ar fi pragurile de excitabilitate, pînă la structura logică a sistemului nervos, de care depinde procesul de descoperire și de interpretare a informațiilor. Lumea înconjurătoare este reprezentată în această structură logică, ea este codificată în circuitele logice ale sistemului nervos (148). Circuitele logice sînt organizate în modele interne suficient de nuanțate pentru a putea recunoaște lumea aceasta minunată în diferitele ei ipostaze. Aceste modele se obțin însă tot sub influența semnalelor primite din afară. De aceea este necesară o igienă informațională și pentru formarea modelelor interne în timpul copilăriei și apoi pentru restructurarea lor în funcție de modificările mediului înconjurător. Modele interne, cuprinse în structura logică a sistemului nervos, reprezintă ace referențial de care vorbește F. Gonseth (44), și care în cazul omului de știință poate fi numit teorie sau ipoteză. Aceasta face ca cercetătorii formați la diferite școli să interpreteze diferit aceeași realitate. De multe ori ei nu pot superiza și interpreta altfel semnalele primite. Și tocmai în posibilitatea de a-și restructura mereu modelele interne se află capacitatea omului de știință de a ține pasul cu progresul științific, precum și capacitatea fiecărui om de a trăi la nivelul coordonatelor epocii sale. Deși s-ar putea să pară paradoxal, un om care rămîne în urmă este mai solicitat din punct de vedere informațional,deoarece între entropia subiectivă și entropia obiectivă apare o diferență mult mai mare.

De aceea solicitarea informațională depinde și de cultura individului, ceea ce face să se vorbească și de o psihosomatică transculturală (194). Aceleași semnale pot aduce o informație mai mică unui om cult, cu mai multă experiență, care poate să prevadă mai bine evoluția fenomenelor. În același timp însă, ele îi pot aduce o informație mai mare decît unui om mai puțin cult, deoarece cunoscînd interdependența fenomenelor, pentru el semnalele apar dintr-un cîmp mult mai mare de evenimente. Omul de cultură a recurs însă întotdeauna la clasificarea fenomenelor, pentru a reduce astfel cantitatea de informație care ar putea depăși capacitățile sale de prelucrare.

Ingiena informațională nu privește însă numai solicitarea cu informații. Structura logică care descoperă și care prelucrează informațiile descoperite are o anumită compoziție substanțială. Pentru a putea funcționa normal, structura informațională a organismului are nevoie de anumite substanțe plastice și energetice. De aceea aportul substanțial-energetic va avea și el o influență deosebită asupra dezvoltării și funcționării sistemului nervos.

Între structura substanțială și solicitarea informațională se stabilește apoi o legătură reciprocă. Tulburările biochimice se pot răsfrînge asupra structurii logice a sistemului nervos influențînd astfel prelucrarea informațiilor, așa cum se întîmplă, spre exemplu, în depresiile endogene în care scăderea catecolaminelor îngreuiază descoperirea noutății, a frumuseții și a plăcerii tonice și reconfortante pe care ar trebui să o aducă semnalele primite. Dar și informațiile primite, sau mai bine zis descoperite, pot influența structura substanțială a sistemului nervos, așa cum se întîmplă în depresiile psihice exogene, în care tocmai informațiile sînt cele care duc la scăderea catecolaminelor (166). Influențe asemănătoare asupra structurii substanțiale a sistemului nervos, care se răsfrîng apoi asupra procesului de prelucrare a informațiilor, se produc în toate psihogeniile, adică în toate bolile psihice produse de traume sau de conflicte psihice, care acționează tocmai prin informația pe care o aduc (119, 145, 159).

Igiena informațională, care are un rol deosebit în adaptarea omului la viața modernă, trebuie să rezolve probleme extrem de complicate, deoarece se adresează unui sistem extrem de complex, care tocmai prin prelucrarea superioară a informațiilor a reușit să se sustragă influențelor entropice de natură substanțial-energetică, devenind astfel extrem de dependent și chiar vulnerabil la influențele de natură informațională (159). Pentru a se sustrage, cel puțin într-o oarecare măsură, și de sub influențele informaționale, organismul uman și-a perfecționat mijloacele de protecție informațională, care au atins punctul culminant prin superizarea tot mai înaltă și prin evaluarea tot mai nuanțată a informațiilor primite. Cu toate acestea, o igienă informațională, care să prevină suprasolicitările și să întărească mijloacele de prelucrare a informațiilor, este absolut necesară.

CAPITOLUL XXI

MECANISMELE CIBERNETICE DE PERFECȚIONARE A FIINȚEI UMANE

Organismul uman pornește de la niște mijloace antientropice relativ simple reprezentate de informația genetică, cuprinsă în cele 8×10^{-12} grame de ADN (32), de echipamentul enzimatic necesar replicației, transcripției și translației și de niște mecanisme de *feed-back* molecular, capabile de a menține stabilitatea sistemelor enzimatice. Pornind de la aceste mijloace antientropice relativ simple, organismul uman reușește să-și construiască treptat mecanisme de reglare din ce în ce mai perfecționate. De aceea pe lîngă genetica care privește modul de transmitere a caracterelor și a proprietăților viitorului organism, mai există și o genetică cibernetică care privește modul în care apar și se dezvoltă mecanismele de reglare capabile să se opună sau să se sustragă celui de-al doilea principiu al termodinamicii (161).

Informația genetică, pe care o primește viitorul organism, direcționează desfășurarea proceselor biologice într-un anumit sens din mulțimea sensurilor posibile. Alegerea acestui sens este însă facilitată de informația structurală, care face posibilă recunoașterea moleculelor, și apoi de forțele slabe, care fac posibilă legarea moleculelor respective între ele. După ce au fost direcționate de informația genetică și facilitate de informația structurală și de forțele slabe, procesele biologice sînt accelerate cu ajutorul activității enzimatice, care tinde să imprime proceselor biologice o viteză mai mare decît viteza cu care s-ar putea desfășura acțiunea antientropică a celui de-al doilea principiu al termodinamicii. Apoi pentru a nu se sintetiza mai multe substanțe decît ar fi necesar, activitatea enzimatică este controlată prin intermediul unor mecanisme de *feed-back* molecular.

Cu ajutorul acestor mecanisme, celula reușește să sintetizeze peste 1400 de molecule de proteine, adică de molecule cu entropie mică, pe secundă (62), ajungînd foarte repede la o redundanță structurală care determină diviziunea celulară și deci apariția unei redundanțe celulare. Redundanța celulară crește posibilitățile de luptă cu cel de-al doilea principiu al termodinamicii, în primul rînd pentru că sistemul va putea pierde unele celule fără a-și periclita existența, iar în al doilea rînd, pentru că sistemul dobîndește astfel posibilitatea organizării supracelulare. Pe lîngă mecanismele de *feed-back* intracelular apar și niște mecanisme de feed-back intercelular. Acestea au mai întîi forma unor influențe reciproce, iar apoi, cînd celulele încep să se diferențieze, forma unor mecanisme de *feed-back* cu centri de comandă, cu traductori și cu organe de execuție foarte perfecționate. Apoi aceste mecanisme de *feed-back* se suprapun și se întrepătrund dînd naștere la niște mecanisme integrate și la o extrem de complicată rețea de comunicație de-a lungul căreia circulă o mare cantitate de informație.

Pentru a putea dobîndi însă o independență și mai mare față de mediul înconjurător, sistemele biologice mai evoluate au reușit să-și construiască treptat, pe lîngă mecanismele de *feed-back*, care funcționează prin corectarea erorilor, și un mecanism de *feed-before*, care funcționează prin prevenirea erorilor. Prin intermediul acestui mecanism de prevenire a erorilor, sistemele biologice reușesc să-și păstreze identitatea și într-un mediu în care se produc evenimente ale căror consecințe nu ar mai putea fi corectate (155). Deoarece prevenirea erorilor este mai dificilă decît corectarea lor, mecanismul de *feed-before* trebuie să supună informațiile primite unor prelucrări foarte complicate. Dificultatea constă însă în faptul că el nu primește în mod direct informațiile de care are nevoie. De aceea el trebuie să supună mai întîi semnalele primite unor prelucrări foarte complicate pentru a putea descoperi informațiile respective. Tocmai pentru a realiza acest lucru el desfășoară procesul de superizare, prin intermediul căruia reușește să treacă de la prelucrarea semnalelor la prelucrarea informațiilor (162) și de la logica bivalentă la logica probabilistă, polivalentă (148). În felul acesta sistemul dobîndește pe lîngă capacitățile sale antientropice, de corectare a erorilor, și o mare capacitate antia-

leatoare, de prevenire a întîmplărilor care ar putea produce anumite erori.

Desigur că foarte multe sisteme biologice dispun de mecanisme de *feed-before*. Dar nici unul dintre ele nu dispune de un mecanism de *feed-before* atît de perfecționat ca al organismului uman. Eficacitatea mecanismului de *feed-before* depinde de capacitatea de superizare, adică de descoperire a informațiilor, de capacitatea de evaluare și de prelucrare a informațiilor descoperite, cu ajutorul modelului relațiilor și al relațiilor dintre relații, precum și de capacitatea de alegere a deciziilor celor mai adecvate. Nici un animal nu realizează însă o superizare atît de înaltă ca organismul uman. Nici un animal nu dispune de un model al relațiilor atît de perfecționat, nu poate evalua informațiile atît de bine și nu poate alege deciziile atît de adecvat cum face organismul uman.

Organismul uman realizează superizarea cea mai înaltă. El ajunge la concepte și idei extrem de înalte și de cuprinzătoare. El dispune de un model al relațiilor care ajunge pînă la nivelul modelelor logico-matematice, capabile să surprindă și cauzalitatea mai ascunsă a fenomenelor și să anticipeze și fenomenele întîmplătoare. El realizează o evaluare extrem de nuanțată a informațiilor și poate alege deciziile în funcție de niște scopuri mult mai înalte, pe care și le propune, de cele mai multe ori, singur. Procesele informaționale pe care le desfășoară organismul uman sînt impregnate apoi de o mare responsabilitate care antrenează de multe ori intervenția conștiinței, indisolubil legată de modelul relațiilor dintre diferitele obiecte și fenomene, în cadrul cărora organismul ocupă și el un anumit loc, și prin intermediul căreia el se raportează și acționează asupra mediului înconjurător.

Prin intermediul acestor procese informaționale, organismul a cîștigat nu numai o mare libertate de acțiune, ci și posibilitatea de a o folosi în modul cel mai adecvat. Aceste mijloace nu ating însă niciodată un nivel care să nu mai poate fi depășit. Ele pot fi mereu perfecționate. Și tocmai în continua perfecționare a lor stau marile posibilități de perfecționare a ființei umane.

Omul se află într-o continuă legătură cu mediul în care trăiește, de la care primește în permanență o mare cantitate de informații, prin intermediul căreia structura lui nervoasă se modelează și se remodelează în cadrul unui interminabil proces de învățare. Spre deosebire de celelalte sisteme biologice, organismul uman caută să reducă, cu ajutorul mecanismelor sale de reglare, nu numai entropia dinăuntrul său, ci și entropia din mediul înconjurător. El depune o muncă susținută de construire a unui mediu mai bun, mai frumos și mai adecvat. În procesul muncii și al creației, el își perfecționează apoi neîncetat structurile sale informaționale. De aceea perfecționarea ființei umane se realizează de fapt în procesul muncii și al creației. Ea are însă un caracter cibernetic, deoarece se realizează prin intermediul unor mecanisme informaționale, cu ajutorul cărora omul a reușit să devină homo ciberneticus, adică om conducător, atît al fenomenelor înconjurătoare, cît și al propriilor sale destine. Marile progrese pe care le-a înregistrat omul se datoresc, în cele din urmă, perfecționării procesului de prelucrare a informațiilor. Prin perfecționarea procesului de prelucrare a informațiilor, omul a reușit să depășească frontiera biologiei animale și tot prin perfecționarea procesului de perfecționare a informațiilor, omul va reusi să depășească mereu propriile sale limite.

SUMMARY

The book "Homo cybernecticus" tackles the means by which man managed to become both the leader of surounding phenomena and the leader of his own destiny. The author starts describing the different systems and the human organism as an open system, not only to substance and energy, but also to necessary information for the control mechanism by means of which it manages to dominate the second thermodynamic principle that aims at entropy increase. But in order to reach that performance, the organism need certain very improved control mechanisms to process the received information according to the most adequated way. Therefore, alongside the feed-back mecanism, operating by the errors correction, the human organism dispose of a feed-before mechanism too. It operates by the errors prevention, which assures it the possibility to exist within an environment where certain events, whose consequences could not be corrected by the feed-back mechanism, are produced.

In the subsequent chapteres, the author insists on control and on information without which no control process can occur. By means of information, processed by some very improved control mechanisms, the organism manages to elude itself from entropic influences of energetics and substantial modifications. Thus, it manages to gain a great independence against the medium it lives. But it depends, as all the other cybernetic systems, on informational influences. Therefore cybernetic systems become in fact some points of an informational field. But in contrast with the points of the other fields, as the electromagnetic field where the state of some points is precisely determinated by the other points state, the state of the cybernetic systems is not determinated only by the external received information. So, it appears an informational causality where the effect does not depend only on producing cause but also on control mechanism on operating program of the system it acts on.

But the control mechanisms don't appear spontaneously. For their appearance it is necessary a genetic information alongside substance and energy received by the system from the environment. This genetic information is that which indicates the way the substance and energy must be used in order to reach a certain order and organization.

Within the neuropsychical control process, the author insists on the fact that, although it needs information, the brain does not receive directly the information it needs. It receives only singnals, which although are information carrier can not be confused with information themselves, because similar signals can bring different information and different signals can bring similar information. Therefore, the brain will have to descover alone within the received signals, the information it needs. That is performed by means of superisation process that is the process of transsition from a series of low degree signals to a high degree signal as it is the transmission from a lot of letters to a word, and so on. But to descover information and then to process them in order to adopt the proper decisions, the system needs a certain logic structure.

Even if this structure is determined by genetic information it can not operate without a program. Except some elementary reflexes that program is not hereditary transmitted. It must be gain within relation between the organism and the environment. It is gained by means culture and education, which represents alongside the genetic channel, the second channel for transmission of information necessary to the human organism developement. Therefore the author describes the cultural channel, informational outbreak which lead to an impetuous developement of cultural channel and redundancy necessary for interpretation of information offered by this informational channel.

Increase of information quantity which man must processes many times during a very short while imposed electronic computer apparitions and improuvement. By means of electronic computer, which helps man in his complicated informational-decisional processes, he obtained certain inteligent robots.

Disposing of control mechanism which can assure a great independence against the environment he lives, man become the most perfect cybernetic system. But neither he is perfect. He also has certain cybernetical imperfections which lead, sooner or later, in his sickening, growing old, and in his death. Therefore a hygiene avoding those cybernetical imperfections becomes absolutely necessary. This aim, first, at informational contribution because by information processing improuvement, man become not only dependent but also very susceptible and sometimes even vulnerable to information influences, because the transmission and processing ways of information have a limited capacity. Therefore the information over-solicitation can yield certain sikening, such as informational agression syndrom, described by the author in 1969, syndrom consisting in tiredness, anxiety, instability and insomnia. Because it does not receive

dirrectely information which can sometimes sicken it, informational agression syndrom is not only the result of objective solicitations, but also the result of antiinformational protection means diminuishing and that of informational descovering. Those means of protection try to reduce the informational load of some signals which bring a too great quantity of information and to increase it when they bring a too little quantity of information, in order to achieve an optimal solicitation of the nervous system. If they don't manage, then even in the case of a normal solicitation, it will appear either informational agression syndrom, or excessive redundancy syndrom, described by the author in 1979. That syndrom consists in tiredness, psychical depression, vigilence diminuishing and apathy or somnolence. Therefore, informational hygiene arise very complicated questions.

Finaly, the author shows that starting from same elementary antientropic means, as genetic information, structural information, of the enzymea and some molecular feed-back mechanism, the human organism manages to build, step-by-step, more and more perfectionated control mechanisms. And by superior processing information, man manages to come out from the domination of the second principle of thermodynamic, and to overstep the animal biology frontier, becoming in this way the leader of his own destiny.

CONTENTS

Beyond the appearances 7
Omniprezence of the systems 11
Cybernetic systems 16
Control as antientropic means 28
Information necessity in control processes 33
Universality of information 44
Informational field 48
Genetical information 53
Intracellular control 64
Intercellular control 77
Endocrine control 93
Neuropsychical control 101
Immunitary control 138
Culture as the second channel for information transmission 145
Informational outbreak 151
The necessary redundancy 154
Human activity as a sequence of informational-decisional processes 160
Artificial intelligence 166
Cybernetical imperfection of the organism 183
Informational hygiene 189
Human being perfectionement cybernetical mechanisms 198
References 202
Summary 212